

适应气候变化的河北省农业节水技术与模式探讨

周国新¹, 苗慧英², 王福田², 顾宝群², 李月霞²

(1. 河北省南水北调工程建设管理局, 石家庄 050000; 2. 河北省水利科学研究院, 石家庄 050057)

摘要: 通过分析气候变化对河北省农业生产发展的影响, 提出在全省范围内可供选择的、适应气候变化的技术措施, 并应用特尔菲法和层次分析法(AHP)建模, 对各种水利、农业措施进行量化识别, 提出了不同类型区适应性技术措施综合评价成果和适应性技术措施优先排序, 进而提出了适应气候变化的农业综合节水与种植技术集成配套模式。实践应用效果表明, 研究成果对于提高示范区农业适应气候变化的能力, 减少水资源系统的脆弱性, 确保农业生产持续稳定发展, 起到了十分重要的作用。

关键词: 气候变化; 农业生产; 适应性技术; 节水技术体系

中图分类号: S318; S274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0157-06

Discussion of Agricultural Water saving Technique and Mode Adapting to Climate Change in Hebei Province

ZHOU Guo xin¹, MIAO Hui ying², WANG Fu tian², GU Bao qun², LI Yue xia

(1. Hebei South-to North Water Diversion Project Construction Administration, Shijiazhuang 050000, China;

2. Hebei Institute of Water Resources, Shijiazhuang 050057, China)

Abstract: According to the analysis of effects of climate change on the agricultural development in Hebei Province, different technical measures were proposed which are available and adapting to climate change. The Delphi method and Analytic Hierarchy Process (AHP) were used to perform quantitative recognition of the water conservancy and agricultural measures in order to evaluate and prioritize the adaptive techniques in different area, and an integrated agricultural water saving and cultivation technology was proposed adapting to climate change. The results can enhance the adaptability of agriculture in the demonstration area to climate change, reduce the vulnerability of water resources system, and ensure the sustainable development of agricultural production.

Key words: climate change; agricultural production; adaptive technology; water saving technology system

近些年来, 以气候变暖为主要特征的全球气候变化对环境、生态和社会经济系统产生重大影响, 已经成为国际社会普遍关心的全球性问题^[1,2]。同时, 趋势性的气候变化及其带来的灾害, 通过改变区域水分和热量条件, 深刻影响着区域农业发展。作为一个农业大省, 频繁发生的气候与气象灾害, 给河北省的农业生产带来巨大损失。随着河北省农业综合发展水平的提高, 气候变化的不利影响还将延伸到以农业为基础的各相关产业中^[3]。因此, 在河北省农业综合工作中, 必须重视气候变化的影响, 并采取相应措施, 提高农业生产和水资源管理领域对气候变化的适应能力。为此, 本文根据河北省水资源的实际情况, 以提高适应气候变化能力为目的, 采用综合评价法, 探讨不同地区的节水技术与模式, 为农业生产和农民增收、增收提供指导。

1 气候变化对农业生产的影响

农业生产高度依赖于水资源, 气候变化对农业生产的影响, 很大程度上是通过水资源的变化对农业生产造成影响。因此, 分析气候变化对农业生产的影响, 首先需要了解气候变化对水资源的影响^[4-6]。

1.1 气候变化对水资源量的影响

对河北省近50年(1956年-2000年)气象数据、水资源评价数据等的分析研究表明, 气候变化对全省径流量、全省地下水资源量和水资源总量有明显影响, 气温升高、降水减少是主要影响因素, 其中降水量的影响更大。

(1) 全省地表径流量近50年平均值为120亿m³, 其中山区为102亿m³, 平原区为18亿m³。20世纪50年代全省

地表径流量为 182.7 亿 m^3 , 60 年代减少到 135.9 亿 m^3 , 70 年代降低到 125.1 亿 m^3 , 而 80 年代, 径流量减少到 83.3 亿 m^3 , 90 年代, 径流量有所回升, 达 105 亿 m^3 。径流量在 50–80 年代减少的主要原因之一是降水量逐渐减少, 50–80 年代降水量从 575.7 mm 减少到 515.9 mm, 而气温从 16.9 $^{\circ}C$ 升高到 18.7 $^{\circ}C$ 。1995 年和 1996 年降水量较大是引起 90 年代径流量回升的原因之一。

(2) 全省地下水资源量近 50 年平均值为 117.9 亿 m^3 , 其中山区为 68.7 亿 m^3 , 平原区为 49.2 亿 m^3 。20 世纪 50 年代为 154.2 亿 m^3 , 60、70、80 年代分别为 127.7 亿 m^3 、116.3 亿 m^3 、102.5 亿 m^3 , 呈逐年代渐减少。在 90 年代, 地下水资源量回升到 106.95 亿 m^3 。地下水资源量减少的主要原因之一是由于降水量在 50–80 年代逐渐减少, 气温随年代逐渐升高, 以及地下水超采降落漏斗扩大等。同样 90 年代地下水资源量的回升与 1995 年和 1996 年降水量较大有关。

(3) 全省水资源总量近 50 年平均值为 202 亿 m^3 , 其中山区为 147 亿 m^3 , 平原区为 55 亿 m^3 。全省水资源总量 20 世纪 50 年代为 289.5 亿 m^3 , 60、70、80 年代分别为 225 亿 m^3 、206 亿 m^3 、155 亿 m^3 。90 年代, 水资源总量回升到 179.5 亿 m^3 。50–80 年代水资源总量减少的原因之一是由于全省同期降水量的减少, 从 575.7 mm 减少到 515.8 mm, 而气温从 16.9 $^{\circ}C$ 升高到 18.7 $^{\circ}C$ ^[7-8]。

1.2 气候变化对农业生产的影响

1.2.1 气候变化对产量的影响

农业是对气候变化反映最为敏感的行业之一。气候变化增加了农业生产的不稳定性, 产量波动大。由图 1 中历年粮食产量变化可以看出, 河北省 1997 年–2007 年粮食产量的总趋势是稳中有升, 但年际间的产量变化呈现一定波动性, 在风调雨顺的天气气候下, 产量就增加, 如果遇到气象灾害, 则减产明显, 而减产的趋势与受灾面积的变化趋势是一致的, 这充分表现了气候变化对农业的影响。

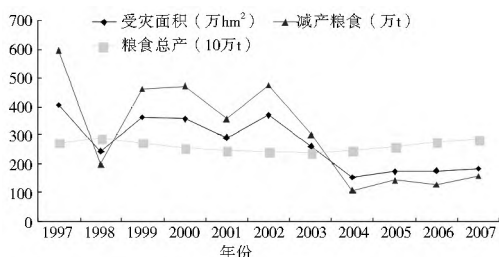


图 1 河北省历年受灾情况对粮食产量的影响

Fig. 1 Hebei disaster situation over the years the impact on food production

气候变化使旱涝灾害出现的频率将发生变化。河北省在 1996 年洪涝灾害之后, 已连续 7 年干旱。降水的减少产生明显不利影响, 如水库蓄水不足, 河流断流, 地下水位持续下降, 导致河北省干旱逐年加重, 干旱使作物正常生长发育受阻。而且水资源严重短缺, 农业用水供需矛盾日益突出, 这是河北省农业生产发展的重大障碍^[9-11]。

1.2.2 气候变化对农业种植的影响

农作物种植制度指的是在一个生产单位内作物种植的

比例(作物布局)、一年种植的次数(复种)和种植方式与方法(轮作或连作、单作或间套作、直播或移栽等)。它是耕作制度的中心。

气候不断变化使河北省种植制度及主要作物品种的布局发生了一定变化。河北省自 1986 年至今已经经历了 17 个暖冬, 使冬小麦种植北界向北推移了 30~50 km, 生育期提前; 一些强冬性品种, 由于冬小麦无法经历足够的寒冷期而不能满足对低温的要求, 而不得不被其它类型的冬小麦品种, 如半冬性冬小麦品种所取代。北部牧业适宜发展范围扩大, 农业和林业适宜发展范围缩小。

1.2.3 极端气候事件对农业的影响

极端气候事件对农业生产的影响主要有干旱(旱灾)、洪涝(水灾)、风雹、低温冻害(霜冻)等。近半个世纪, 河北省干旱化面积呈显著上升趋势, 因干旱受灾和成灾面积在逐渐扩大, 干旱影响范围呈现出增加的趋势, 尤其是夏季干旱影响范围扩大趋势明显, 速度为每 10 年增加 3.2%, 作物受灾(成灾)面积呈逐年上升趋势, 灾害程度增加干旱化问题变得越来越突出^[10]。

据统计, 1951 年–2007 年, 全省因旱造成年平均受灾面积 119.6 万 hm^2 , 成灾 77.6 万 hm^2 , 年增长率分别为 2.6% 和 2.3%; 成灾比重也由 20 世纪 50 年代 44.1% 增加到 90 年代的 68.6%; 其中 1997 和 1999 年出现近 50 年来最严重的夏旱: 造成河北省粮食大幅度减产, 1997 年粮食比上年减产 39 kg/hm^2 , 1999 年比上年减产 197.7 kg/hm^2 。

其他如暴雨洪涝、风雹、低温冻害等也都对河北省粮食生产危害严重。

气候变暖是造成全球极端气候事件明显增多的主要原因。在未来气候变暖的大背景下, 冷害事件将呈减少趋势, 但极端高温事件将增加, 旱灾、水灾等自然灾害的发生频率和强度将会增加。目前的气候预测还不能回答未来农业生产地域会有哪些极端气候事件, 或这些极端气候事件发生的频率和强度究竟有多大, 为研究工作和实际农业生产安排带来很大困难, 这是今后研究中亟待解决的问题之一。

1.2.4 气候变化对农业用水的影响

气候变化对农作物产量、农业种植以及作物病虫害等均会产生一定影响, 而对农业用水的影响更为突出, 主要表现在两个方面: 一是气候变暖使作物生长季内的潜在蒸散量增加, 导致土壤水分的有效性下降, 从而增加农业灌溉需水量; 二是气候变化导致水资源总量短缺。这两方面同时作用, 放大了农业水资源的供需矛盾。

1.3 未来气候变化情景及水资源情势预测

采用区域气候模式 RegCM3 基于 IPCC SRES 中 A2 情景模拟华北地区 2030 年和 2050 年的温度和降水, 结合依据近 50 年实测气象观测及水资源资料建立的气候变化对河北省水资源影响定量评估模型, 对河北省未来气候变化情景下水资源变化的综合情势作出了预测, 为河北省未来水资源的利用规划提供参考依据。

1.3.1 河北省未来气候变化情景预测

未来河北省气温将继续升高, 降水有所增加。

2030 年, 河北省的年平均气温将升高 1 $^{\circ}C$ 以上。张家口

北部、承德、秦皇岛和唐山东北部将升高 1.3℃~1.4℃, 张家口南部、廊坊和唐山西南部将升高 1.2℃~1.3℃, 中南部地区升高 1.1℃~1.2℃; 年降水量将普遍增加, 其中北部的张家口和承德以及廊坊市的部分地区年降水量将增加 3%~5%; 东部沿海的唐山、秦皇岛部分地区、沧州和南部的石家庄、邢台、邯郸年降水量将增加 9%~13%; 其它地区将增加 5%~9%。

2050 年, 河北省的年平均气温仍将继续升高。张家口北部、承德、唐山东北部和秦皇岛将升高 2.0℃~2.2℃, 石家庄南部、衡水、邢台和邯郸升高 1.7℃~1.8℃, 其他地区升温幅度在 1.8℃~2.0℃之间; 年降水量仍偏多, 其中北部增加的较少, 东部沿海和南部增加较多。张家口、承德、保定和廊坊增加了 3%~11%, 其中张家口和承德部分地区增加 3%~7%; 东部沿海和南部的大部分地区增加 11%~15%。

1.3.2 未来河北省水资源情势预测

在预测的气候变化情景下, 海河流域 2030 年径流量增加幅度从北到南在 70~77.56 亿 m³, 2050 年径流量增加幅度 69.8~77.15 亿 m³。滦河流域 2030 年径流量增加幅度应该在 49.97~52.9 亿 m³, 但 2050 年由于预测温度的明显偏高滦河流域部分地区径流量将减少 48.7 亿 m³, 其他地区最多能增加 53.97 亿 m³。

2030 年河北省不同地区径流量北部减少 114.36 亿 m³, 南部增加 138.24 亿 m³; 2050 年, 全省大部分地区径流量要小于 2030 年的径流量, 北部将减少 106.8 亿 m³, 南部增加 137.8 亿 m³。

1.3.3 未来河北省极端天气事件预估及农业生产情势分析

据有关研究结果, 在全球气候变暖的大趋势下, 无论是降水强度、频数, 还是干旱指数, 21 世纪中国区域极端降水指数都有显著增长的趋势, 未来与降水有关的事件都呈极端化的趋势, 极端降水强度可能增强, 干旱也将加重。受全球气候变暖大背景的影响, 未来河北省极端天气事件发生的概率有可能大大增加, 多种灾害发生的频率也将增加, 需要特别警惕极端天气事件的出现。

气候变暖和 CO₂ 浓度增加将对河北省设施农业的发展和生产产生一定的影响。首先, 冬春季节气温变换有利于设施环境下作物的生长。其次, 大气中 CO₂ 浓度增加将有利于温室作物的生长。气温升高和 CO₂ 浓度的增加将进一步改善温室农作物的产量和品质。

2 适应气候变化的农业节水技术与模式

2.1 适应气候变化的技术措施

由上文可知, 水资源的供应和使用是河北省农业生产的主要限制条件, 因而针对气候变化的农业适应性措施应该是以农业水资源的节约利用为核心, 进一步识别水资源的合理供应、分配和使用状况, 发展适用技术和工程^[12]。事实上, 区域性水资源稀缺使得自 20 世纪 80 年代以来, 节水就一直是河北省农业发展的主题, 因此这期间的农业综合开发项目也非常注重节水, 其建设内容也主要是包括水利措施、农业措施、林业措施以及科技推广等措施, 见表 1。

表 1 河北省农业节水采取的主要措施

Table 1 Hebei Agricultural water main measures

水利措施	农业措施	林业措施	科技推广措施
(1) 小型蓄水工程	(1) 改良土壤		
(2) 拦河坝	(2) 良种基地建设	(1) 农田防护林	(1) 技术培训
(3) 修建排灌站	(3) 机耕路建设	(2) 经济林	(2) 示范推广
(4) 更新和修复机电井	(4) 农业机械	(3) 园林	
(5) 输变线路配套	(5) 保护性耕作		
(6) 灌排渠系工程	(6) 种植结构调整		
(7) 喷、微灌			

以上措施体现了针对缺水问题, 河北省侧重加强节水灌溉, 同时, 农业、林业以及科技推广等措施的实施, 既注重工程建设内容, 又关注环境影响, 强化了农业生态系统的适应能力, 改善了农业生产条件与环境, 提高了水资源利用率和水分生产效率, 保障粮食生产, 增加农民收入, 实现节水、增效、增收的目标, 对保护、支持农业发展, 改善了农业生产基本条件, 提高农业综合生产能力和综合效益等方面可起到积极作用。

依据河北省农业综合开发以及多年来在抵御洪涝干旱等自然灾害中积累的技术与经验, 以水资源的管理和利用为主体, 并考虑增温的影响, 从河北省实际出发, 将可供选择的、适应气候变化的农业节水技术措施整理见表 2。

表 2 河北省适应气候变化的农业节水技术

Table 2 List of agricultural water saving technologies adapting to climate change in Hebei Province

灌溉工程节水技术	农艺节水技术
低压管灌技术	农田覆盖技术: 地膜覆盖、秸秆覆盖
喷灌技术	抗旱节水种植技术: 抗旱沟播技术、抗旱坑种技术、垄作栽培技术、坐水穴播技术
渠道防渗技术	生物节水(种子)技术
微滴灌技术	土壤耕作蓄墒技术: 少免耕、翻耕、深松耕、旋耕
集雨节灌技术	化控技术: 保水剂、土壤蒸发抑制剂、植物抗蒸腾剂、土壤结构改良剂、植物生长调节剂

表中的各项技术措施在河北省范围普遍可以采用, 但在不同类型分区, 由于水资源状况、气候条件、农业种植等情况有所不同, 甚至差别较大, 因此可以采用的技术类别、优先次序等也存在差别。

2.2 适应性技术优先性排序

为了提高研究区农业生产适应气候变化的能力, 本文采用综合评价法, 根据不同类型区的特点, 确定各区适应性农业节水技术的优先次序。综合评价法^[13]的核心是层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 和特尔菲法 (Delphi)。在特尔菲法定性分析的基础上, 应用层次分析法建模, 实现节水技术与各种应对措施的量化识别, 从而为适应气候变化的农业节水技术集成模式的选择提供重要的依据^[14]。

(1) 层次结构模型的建立^[15]。按照 AHP 法, 将所研究问题涉及的因素条理化、层次化, 分为三层。

a. 决策目标层: 只有一个元素, 即适应气候变化的农业

节水技术措施优先次序。

b. 准则层: 包含了为实现目标所涉及的中间环节, 如经济效益、社会生态效益、技术可行性等。

c. 指标层: 包括了为实现目标可供选择的各种措施、决策方案等, 因此也称为措施层或方案层。如采取的节水工程措施、农艺措施及管理措施等, 措施层以下由更为具体的技术措施组成, 如节水措施包括喷灌技术、滴灌技术、低压管道灌溉技术、渠道衬砌及集雨节灌技术; 农艺措施包括抗逆性作物品种、覆盖技术、耕作蓄水技术、小畦灌溉技术、调亏灌溉、蓄水耕作、适水种植与合理密植、化学制剂保水技术及优质高产作物品种; 管理措施包括加强灌溉管理、组建 WUA、加强墒情监测预报、健全水管理法规、推进体制机制改革、加强病虫害监测预报体系建设、加大病虫害防治技术服务的投入、加强农民能力培训等^[16]。

按照各类指标之间的隶属关系, 把它们排成由高到低的若干层次, 即可建立递阶层次结构模型, 见图 2。

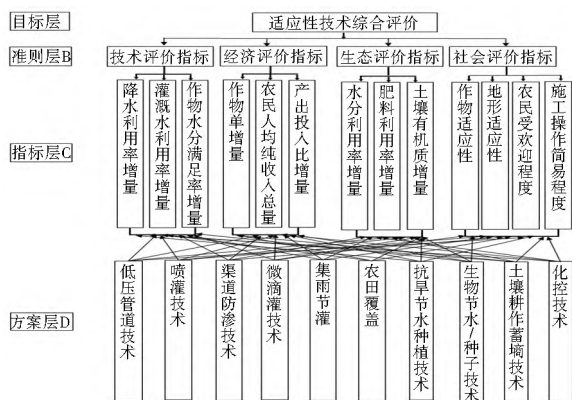


图 2 适应性技术综合评价指标体系

Fig. 2 Index system of comprehensive evaluation of adaptive technology

(2) 权重集 A 的确定。模型中, 各指标权重采用特尔菲法与层次分析相结合的方法确定。为加强评价结果与各区适应性技术的实际符合程度, 按照技术人员 50%, 管理人员 30%, 农民 20% 的比例聘请一批专家打分。其中技术与管理人员在水利、农业、植保以及气象等不同行业与部门选取, 农民则在当地选取, 参与本次适应性农业节水技术措施的选择与评价的打分工作。然后将专家的意见统计集中, 作为确定权重的依据。

表 4 适应性技术措施综合评价成果(太行山山麓平原区)

Table 4 The comprehensive evaluation results of adaptive technology measures (Taihang piedmont plain area)

项目	管道灌溉	喷灌技术	渠道防渗	微滴灌	集雨节灌	农田覆盖	抗旱节水种植	生物节水	土壤耕作蓄墒	化控技术
评价结果	0.315	0.278	0.231	0.257	0	0.377	0.393	0.407	0.352	0.35
归一结果	0.107	0.094	0.078	0.087	0	0.127	0.133	0.137	0.119	0.118

由此, 可得出各类型区采取适应气候变化的技术措施的优先次序, 见表 5。

2.3 各分区适应气候变化的农业节水技术集成模式

以上述适应性技术措施综合评价成果为依据, 对河北省各类型区适应气候变化的节水技术发展模式进行集成配套如下。

(1) 太行山山麓平原区。该区是河北省农业和粮食主产区, 农业资源比较丰富, 但地下水资源过度开采和浪费问题

确定各层指标的相对权重及多层并合的总权重见表 3。

表 3 各层指标相对权重及多层并合总权重

Table 3 Relative weights of indicators in each layer and the combined weight of indicators of all layers

C 层指标相对权重		B 层指标相对权重		相对 A 的
指标	权重	指标	权重	总权重
降水利用率增量	0.35			0.105
灌溉水利用率增量	0.35	技术评价指标	0.3	0.105
作物水分满足率增量	0.3			0.09
作物单产量(增产量)	0.31			0.093
农民人均纯收入增加	0.39	经济评价指标	0.3	0.117
产出/投入比增量	0.29			0.087
水分利用率增量	0.41			0.0861
肥料利用率增量	0.27	生态评价指标	0.21	0.0567
土壤有机质增量	0.32			0.0672
作物适应性	0.27			0.0513
地形适应性	0.21	社会评价指标	0.19	0.0399
农民受欢迎程度	0.31			0.0589
施工操作简易程度	0.21			0.0399

(3) 各单因素隶属度的确定。定量指标隶属度采用升、降半梯形函数的方法, 定性指标隶属度采用专家评语的方法进行确定, 得到隶属度矩阵, 以太行山山麓平原区为例, 隶属度矩阵如下:

$$U = \begin{pmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.25 & 0.00 & 0.23 & 0.26 & 0.26 \\ 0.30 & 0.50 & 0.15 & 0.75 & 0.00 & 0.26 & 0.00 & 0.30 & 0.21 & 0.25 \\ 0.18 & 0.21 & 0.03 & 0.25 & 0.00 & 0.25 & 0.00 & 0.22 & 0.19 & 0.29 \\ 0.15 & 0.23 & 0.06 & 0.30 & 0.00 & 0.40 & 0.00 & 0.45 & 0.27 & 0.22 \\ 0.23 & 0.17 & 0.04 & 0.02 & 0.00 & 0.28 & 0.00 & 0.35 & 0.25 & 0.19 \\ 0.25 & 0.17 & 0.06 & 0.03 & 0.00 & 0.30 & 0.00 & 0.30 & 0.23 & 0.28 \\ 0.31 & 0.43 & 0.15 & 0.55 & 0.00 & 0.20 & 0.00 & 0.23 & 0.21 & 0.15 \\ 0.10 & 0.20 & 0.00 & 0.32 & 0.00 & 0.21 & 0.00 & 0.10 & 0.20 & 0.25 \\ 0.00 & 0.10 & 0.00 & 0.20 & 0.00 & 0.15 & 0.00 & 0.10 & 0.20 & 0.29 \\ 1.00 & 0.55 & 1.00 & 0.20 & 0.00 & 0.91 & 0.00 & 1.00 & 1.00 & 0.92 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.56 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 0.83 & 0.20 & 0.95 & 0.12 & 0.00 & 0.80 & 0.00 & 1.00 & 0.80 & 0.56 \\ 0.82 & 0.39 & 0.93 & 0.10 & 0.00 & 0.80 & 0.00 & 1.00 & 0.75 & 0.92 \end{pmatrix}$$

(4) 适应性技术综合评价。将权重与隶属度矩阵点积, 即可得综合评价结果, 见表 4。

比较严重, 过去的水浇地已经或正在变为旱地。按照适应性技术评价成果, 其主体技术应是在采取管道灌溉技术减少输配水损失的基础上, 通过节水超高产品种鉴定选用, 强化利用土壤保蓄水的功能, 完善配套节水栽培综合农艺措施, 强化水肥高效耦合, 实现以土节水、以肥节水、以种节水、以管节水的高产和超高产的工程、农艺、管理等综合节水技术体系。其集成模式为:

管道灌溉技术(入小畦灌溉)+ 抗旱节水作物品种+ 抗

表5 各类型区适应气候变化技术措施优先次序

Table 5 Priorities of technical measures adapting to climate change in various types of districts

类型分区	技术措施优先性排序	
太行山麓平原亚区	灌溉工程节水技术	低压管灌(井灌)、喷灌、微滴灌、渠道防渗
	农艺节水技术	生物节水(种子)、抗旱节水种植、农田覆盖、耕作蓄墒、化控、平衡施肥
燕山山麓平原亚区	灌溉工程节水技术	低压管灌(井灌)、喷灌、微滴灌、渠道防渗
	农艺节水技术	生物节水(种子)、土壤耕作蓄墒技术、农田覆盖、耕作蓄墒、化控、平衡施肥
冀中南低平原亚区	灌溉工程节水技术	低压管灌(井灌)、喷灌、微滴灌、渠道防渗、咸淡混浇
	农艺节水技术	土壤耕作蓄墒、生物节水(种子)、农田覆盖、抗旱节水种植、化控、贴茬播种、小麦玉米两晚技术、平衡施肥
滨海平原亚区	灌溉工程节水技术	低压管灌、喷灌、微滴灌、渠道防渗、咸淡混浇
	农艺节水技术	生物节水(种子)、土壤耕作蓄墒、农田覆盖、抗旱节水种植、化控、贴茬播种、小麦玉米两晚技术、平衡施肥
坝上高原亚区	灌溉工程节水技术	集雨节灌、喷灌、膜下滴灌
	农艺节水技术	生物节水(种子)、土壤耕作蓄墒、抗旱节水种植、农田覆盖、化控、平衡施肥
冀西北山间盆地	灌溉工程节水技术	集雨节灌、管道灌溉(井灌)、喷灌、微滴灌、渠道防渗
	农艺节水技术	生物节水(种子)、土壤耕作蓄墒、抗旱节水种植、农田覆盖、化控、平衡施肥
燕山丘陵亚区	灌溉工程节水技术	集雨节灌、管道灌溉、喷灌、微滴灌、渠道防渗
	农艺节水技术	生物节水(种子)、土壤耕作蓄墒、抗旱节水种植、穴播覆膜、化控、平衡施肥
太行山丘陵亚区	灌溉工程节水技术	集雨节灌、管道灌溉、喷灌、微滴灌、渠道防渗
	农艺节水技术	生物节水(种子)、土壤耕作蓄墒、抗旱节水种植、农田覆盖、化控、平衡施肥

旱节水种植技术+ 农田覆盖技术+ 管理措施(节水灌溉制度、WUA 组织建设等)。

(2) 燕山山麓平原区。本区水资源条件相对较好,耕地灌溉率达 80% 以上,属微缺水区。主要种植小麦、玉米、水稻、花生等作物。考虑到该区土壤质地较轻,灌水渗漏严重,但经济条件较好,生产水平较高,因此为提高降水及灌溉水的利用率,优先采取的综合技术集成模式为:

管道灌溉技术/喷灌技术+ 畦灌(沟灌)+ 抗旱节水作物品种+ 土壤耕作蓄墒技术(少、免耕)+ 农田覆盖(秸秆、地膜)技术+ 平衡施肥+ 管理措施(节水灌溉制度模式等)。

(3) 冀中南低平原亚区。该区既是水资源极为匮乏的地区,又是耕地面积最大的农业区。由于地下水严重超采,已造成许多资源问题。因此应立足节水,合理利用当地浅层淡水、微咸水资源,并以适应栽培与种植为主体技术,全面推广以抗旱作物、抗旱品种为主体技术的旱作农业综合配套技术,建立高效节水和水资源可持续利用的综合发展模式:

咸淡混浇+ 管道输水直接入(小)畦灌溉+ 少耕(免耕)+ 抗、耐旱优良作物品种+ 覆盖(秸秆、地膜)保墒+ 节水灌溉制度模式+ 用水管理措施。

(4) 滨海平原亚区。该区水资源条件相对较好,农田类型以灌溉农田为主。作物种植以小麦、玉米、水稻等作物为主。其主体技术应是以雨水、地下咸水、海水利用为中心的滨海平原高效农业节水模式:

咸淡混浇/海水利用+ 管道输水直接入小畦+ 抗旱节水作物品种+ 少耕(免耕)+ 覆盖(秸秆、地膜)保墒+ 节水灌溉制度模式+ 用水管理措施。

(5) 坝上高原区。该区以旱作农田为主,气候低温干旱,土壤瘠薄缺肥,坡耕地多,跑水跑肥和风蚀严重,改造难度大,地下水不足且利用难度大。该区主体技术应按照基本农田工程建设,推行农田聚水、保水、蓄水、集水的用水技术,以

机械沟播、地膜覆盖、粮饲轮作套种技术为手段;根据经济条件因地制宜开展坡耕地改造,丰产沟建设和雨水积蓄利用,形成提高自然降水利用效率和效益的节水技术模式:

集雨节灌+ 抗旱优良作物品种+ 深耕蓄水+ 沟坑种植+ 覆盖保墒模式+ 节水灌溉制度模式+ 用水管理措施。

(6) 冀西北山间盆地。该区大部为山地、丘陵,山坡陡峭、生态脆弱、气候冷凉、水资源极缺。其主体技术应以坡改梯田与综合治理技术为主,综合运用集雨蓄水、错季适应栽培、机械沟播配套技术,推广地膜覆盖创高产技术,形成以提高自然降水利用效率和效益的山地丘陵农业综合配套技术:

集雨节灌+ 抗旱节水作物品种+ 深耕蓄水+ 沟坑种植+ 覆盖保墒模式+ 节水灌溉制度模式+ 用水管理措施

(7) 燕山丘陵亚区。该区气候资源丰富,农业生产比较稳定,但坡耕地多,大量耕地沙性强或含砾石较多,漏水漏肥、风蚀较重。因此应以基本农田建设与综合治理为主体技术,综合应用地膜覆盖、集雨旱作、适应栽培技术,全面推广坡改梯田、治沙改土和水平沟建设等农业综合配套技术:

管道灌溉技术+ 抗旱节水作物品种+ 少、免耕技术+ 沟坑种植+ 覆盖保墒模式+ 节水灌溉制度模式+ 用水管理措施

(8) 太行山丘陵亚区。该区坡耕地多,土层薄,保水、蓄水能力差,干旱严重,作物产量低而不稳,是典型的不稳定旱作农业类型区。应以坡改梯田与集雨设施建设为主体技术,综合应用培肥施肥、地膜覆盖、适应栽培技术,因集水设施调整种植结构,发展特色高效农业,全面推广农业综合配套技术。

集雨节灌+ 抗旱节水作物品种+ 深耕蓄水+ 沟坑种植+ 覆盖保墒模式+ 节水灌溉制度模式+ 用水管理措施

3 示范实施效果

2009 年- 2011 年,在河北省利用世界银行贷款加强灌溉农业三期项目区(以下简称“IAIL3”)开展了农业适应气候

变化技术示范。示范区总面积 96 800 hm², 3 年累计纯收入 24 663 万元, 年均 8 221 万元。在连年干旱的不利气候条件下, 实现了农业节水、增效、增收的目标, 提高了农业综合生产能力和综合效益, 特别是对提高农业应对气候变化的能力, 起到了十分重要的作用。

参考文献(References):

- [1] 林而达, 杨修. 气候变化对农业的影响评价及适应对策[A]. 气候变化与生态环境研讨会文集[C]. 2003: 73-77. (LIN Er-da, YANG Xiu. Evaluation of the Impact of Climate Change on Agriculture and Daptation Strategies[A]. The Collected Works of Climate Change and the Ecological Environment Seminar [C]. 2003: 73-77(in Chinese)).
- [2] IPCC. Climate change 2007: Synthesis Report[R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [3] 王淑梅. 关于未来气候变化对河北农业生产的影响与对策的思考[J]. 辽宁教育行政学院学报, 2005, (4): 126-128. (WANG Shu mei. Thinking Aout the Future Impact of Climate Change on Agricultural Production in China and Countermeasures[J]. Journal of Liaoning Educational Administration Institute, 2005, (4): 126-128. (in Chinese)).
- [4] Howden S M, Soussana J F, Tuuillo F N, et al. Adapting Agriculture to Climate Change[J]. Pnas, 2007, 104(50): 1969-19696.
- [5] Piao S L, Ciais P, Huang Y, et al. The Impacts of Climate Change on Water Resources and Agriculture in China[J]. Nature, 2010, 467(7311): 43-51.
- [6] Wang J, Mendelsohn R, Dinar A, et al. The Impact of Climate Change on China's Agriculture[J]. Agricultural Economics, 2009, 40: 323-337.
- [7] 李春强, 杜毅光, 李保国, 等. 河北省近四十年(1965-2005)气温和降水变化特征分析[J]. 旱区资源与环境, 2009, 23(7): 1-7. (LI Chun-qiang, DU Yi-guang, LI Bao-guo, et al. An Analysis on Variation Characteristics of Temperature and Precipitation in Hebei Province During 1965-2005[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(7): 1-7 (in Chinese)).
- [8] 邵爱军, 左丽琼, 阮新, 等. 河北省近 50 年气候变化对地表径流量的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 19-25. (SHAO Ai-jun, ZUO Li-qiong, RUAN Xin, et al. Impact of Climatic Change on Surface Runoff in Hebei Province in the Last 50 Years[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(6): 19-25. (in Chinese)).
- [9] 李元华, 车少静. 河北省温度和降水变化对农业的影响[J]. 中国农业气象, 2005, 26(4): 224-228. (LI Yuan-hua, CHE Shao-jing. Temperature and Precipitation Change on Agriculture of Hebei Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(4): 224-228. (in Chinese)).
- [10] 刘学锋, 任国玉, 范增禄, 等. 海河流域近 47 年极端强降水时空变化趋势分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, (8): 85-90. (LIU Xue-feng, REN Guo-yu, FAN Zeng-lu, et al. Trends of Precipitation Extremes in the Haihe River Basin During 1961-2007[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, (8): 85-90. (in Chinese)).
- [11] Tao F, Yokozawa M, Liu J. Climate-crop Yield Relationships at Provincial Scales in China and the Impacts of Recent Climate Trends[J]. Climate Research, 2008(38): 83-94.
- [12] 刘恩财, 谢立勇, 赵洪亮, 等. 关于农业应对气候变化的适应能力建设问题[J]. 农业经济, 2010, (2): 3-5. (LIU En-cai, XIE Li-yong, ZHAO Hong-liang, et al. On Agriculture to Combat Climate Change Adaptation Capacity-Building[J]. Agricultural Economy, 2010(2): 3-5. (in Chinese)).
- [13] 卢玉邦, 郭龙珠, 郎景波. 综合评价方法在节水灌溉方式选择中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 33-36. (LU Yu-bang, GUO Long-zhu, LANG Jing-bo. Comprehensive Evaluation Method in the Selection of Water Saving Irrigation Methods[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 33-36. (in Chinese)).
- [14] 王英凯. 基于德尔菲法和层次分析法原理的科研项目评价模型[J]. 山西财经大学学报, 2001, (S2): 148-149. (WANG Ying-kai. Based on Delphi Method and AHP Evaluation Model of Principle Research Projects[J]. Journal of ShanXi Finance and Economics University, 2001, (Supp. 2). (in Chinese)).
- [15] 王秀珍, 黄敬锋. 层次分析法及其应用实例简介[J]. 新疆气象, 1989, (7): 25-29. (WANG Xiu-zhen, HUANG Jing-feng. Analytic Hierarchy Process and Its Application Examples Profile[J]. Xinjiang Meteorological, (7): 25-29. (in Chinese)).
- [16] 周义, 覃志豪, 包刚. 气候变化对农业的影响及应对[J]. 中国农学通报, 2011, 27(32): 299-303. (ZHOU Yi, QIN Zhi-hao, BAO Gang. Impacts of Climate Change on Agriculture and Its Responses[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(32): 299-303. (in Chinese)).