

黄土高原水土流失区干旱条件下节水灌溉持续增产效益诊断

李志熙^{1,2}, 彭珂珊^{1,3}, 廖允成¹
(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨陵 712100;
2. 陕西榆林学院, 陕西 榆林 719000; 3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 针对黄土高原地区水资源的不合理利用而引发的一系列环境问题, 水资源环境恶劣, 农业生产条件受限, 制约农业持续发展; 人们的思想观念比较传统、陈旧、固守、落后, 小规模经营; 科学技术落后、信息不畅, 区位优势; 生存环境失衡, 水土流失严重, 自然灾害频繁, 作物产量低而不稳的现状, 分析了节水灌溉和作物产量的关系, 多角度探讨了地面节水灌溉、地上节水灌溉、地下节水灌溉三种不同形式, 根据黄土高原水土流失区的实际情况, 对旱作农业补充灌溉进行了研究。通过实地调查可知: 节水灌溉已成为发展“两高一优”农业的有效途径和粮食再上新台阶的重要战略措施。
关键词: 节水灌溉; 灌溉效益; 农业生产; 旱作农业; 黄土高原
中图分类号: S 157; S273.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2006) 01-0066-04

Continuous Yield Increase Diagnose of Water-saving Irrigation in Arid Area of Soil and Water Loss on Loess Plateau

LI Zhi-xi^{1,2}, PENG Ke-shan^{1,3}, LIAO Yun-cheng¹
(1. College of Agronomy, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Yulin College, Yulin, Shaanxi 719000, China;
3. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Unreasonable use of water resources has led to a series environment problems, such as water resources environment goes on worse, agricultural conditions are limited and agricultural development is restricted, the people's thought are traditional, backward, and conservative, agriculture production is in small scale, technique is backward, information can not be transmitted well, the area is in a disadvantage position, living environment is in the state of unbalance, soil erosion is serious, natural disasters occur frequently, the crop yield is low and unstable. After analyzing the relation between water-saving irrigation and crop yield, the three forms of water-saving irrigation on the ground, above the ground and underground are discussed with multi-angles. With the spot investigation, water-saving irrigation has become an effective method to develop agriculture and increase crop yield.
Key words: water-saving irrigation; irrigation effect; agricultural production; dryland farming; Loess Plateau

黄土高原地区地处黄河上游地区, 涉及陕、晋、蒙、宁、甘、青、豫的 287 个(市、县、区), 土地总面积为 62.85 万 km², 水土流失面积达 45.3 万 km², 占黄土高原总面积 72.08%。耕地以坡地为主, 年降水量为 300~500 mm, 且时空分布不均, 多集中在 6~9 月份, 降水变率大, 达到 15%~50%, 黄土高原水土流失区大部分属于旱区, 旱区农业分布范围广泛, 生产潜力巨大, 在整个农业生产中占有相当大的份额, 无论在全世界还是在中国, 都是农业的重要组成部分。黄土高原水土流失区旱作农业在世界上具有悠久的历史, 在我国农业的发展历史上发挥了重要的作用。现有灌溉农田面积 67.73 万 hm², 占总耕地面积的 13.2%。虽然灌溉农田所占比例不大, 但在农业生产中的作用十分突出。灌溉农田的生产潜力一般是旱作农田的 1.5~2 倍。

黄土高原水土流失区水资源十分贫乏, 耕地平均拥有水资源量为 2 625 m³/hm², 仅为全国平均水平 26 280 m³ 的 9.98%。但在另一方面, 农田灌溉用水的损失和浪费还相当严重。主要表现在: 输水系统落后, 渠道渗漏严重, 渠系水利用率低, 如宁夏、甘肃和青海的灌区利用率都在 0.4~0.45 之间, 陕西的泾、洛、渭三大灌区每千米渠道渗漏损失率一般为 0.4%~0.5%, 每年渗漏损失量约 3.28~3.98 亿 m³, 可以灌溉 8.7~10.6 万 hm² 耕地, 相当于一个大型灌区面积; 灌溉定额过高, 一般高出作物实际需水量 2~3 倍, 如在甘肃、宁夏的引黄灌区合理灌溉定额为 350~500 m³, 实际灌水量却达 700~1 000 m³; 采用传统灌溉方式, 实行大水漫灌, 造成灌溉水大量的无谓损耗, 这与黄土高原水土流失区水资源紧缺的现实极不相称。为了抵御干旱, 增加作物产量, 必须

① 收稿日期: 2005-03-31
基金项目: “十五”国家科技攻关项目(2001BA508, B17, B24); 中科院知识创新项目(KZCX1-06); 国家自然科学基金(40271053); 国家软科学计划项目(2002DQ 1, D041); 国家重点基础研究发展规划(2000018605) 共同资助。
作者简介: 李志熙(1965-), 男, 陕西米脂人, 副教授, 主要从事果树栽培和生态恢复与重建方面的教学与研究。

对有限的河川径流水和地下水资源加以高效利用,采取节水灌溉技术,推行节水灌溉制度,并借助各种集水设施,发展旱地补充灌溉,充分提高灌溉水的利用效率,实现节约用水,达到增产增收,研究黄土高原水土流失区的节水灌溉,对确立农业的基础地位,实现社会安定及其粮食安全可起到举足轻重的作用。

1 节水灌溉与作物产量的关系

节水灌溉是节水农业的重要组成部分。节水灌溉农业是在改进灌溉技术和灌溉管理制度及区域水资源平衡的基础上,努力提高灌溉水的有效利用率,以投入最少或较少的灌溉水,产出最多或较多的农产品,以获得单位灌溉水量的最高生产效率的一种灌溉技术。它既是遵循作物生长发育需水机制进行的适时灌溉,又是把水的无效消耗降低到最小限度的

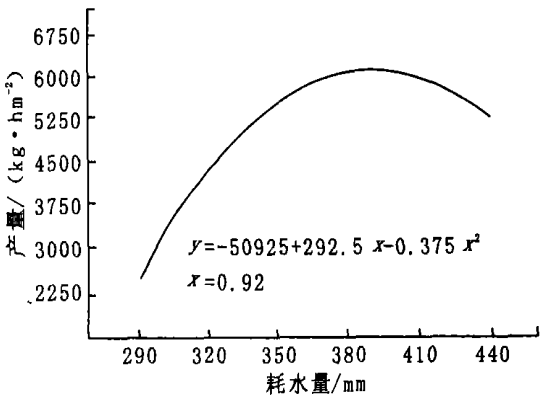


图 1 冬小麦产量与耗水量关系图

各种农作物都有自己的需水临界期,在需水临界期,作物对缺水最为敏感,而且此期作物生产较快,水分利用率高。节水灌溉即是依据作物的需水规律,在保证作物正常生理需要的前提下,确保作物需水关键时期的水分供给,减少灌次数,降低田间水分的无效消耗,使有限水资源获得较高的产量。如美国内布拉斯州密歇安的试验表明,玉米在整个生长期中灌水 6 次,共灌水 544 mm,产量为 9 525 kg/hm²,而在玉米抽穗、吐丝期及时灌水 3 次,共灌水 395 mm,产量也达 9 395 kg/hm²,产量相差仅 1.4%,用水量却节省了 27.2%。

近几年来,发展起来的有限水分亏缺效应和有限灌溉的理论与实践给节水灌溉注入了新的内容。Turner(1989)认为,水分亏缺不总是降低产量,早期适度水分亏缺还有利于某些作物的增产。在半干旱条件下,轻度水分亏缺处理的向日葵产量比充分灌溉提高了 50%;花生开花期中等水分亏缺较充分灌溉处理荚果产量提高了 9.2%~18.0%。一些研究还表明,苗期干旱锻炼可促进根系发育,增强吸水能力,而后期干旱则有利于物质运输,使初期灌浆速率加快,因而提高了禾谷类作物的经济系数。西北农林科技大学水土保持研究所山仑院士研究表明,不同程度干旱的初期阶段物质运输速率都加强了,持续干旱对物质运输起抑制作用(表 1),中等水分亏缺不会对作物产量造成影响,却能显著提高 WUF。试验还证明,水分亏缺对植物各生理过程影响不同,先后顺序为:生长—蒸腾—光合—运输。因此,应避免在营养生长盛期和授粉受精期使作物遭受严重的水分亏缺,而苗期和生长后期可忍受相当程度的干旱不致于严重减产。掌握这一规律,对于水资源贫乏的黄土高原水土流失区进行有效的旱地作物补充灌溉和制定合理的节水灌溉制度具有重要的指导意义。

的适量灌溉。因此,节水灌溉兼有节水与高产的双重要求。节水灌溉的增产机制是建立在农作物需水量和耗水量规律基础上的,它是以产量、水分利用效率和经济效益三者高水平的有效统一为目标。西北农林科技大学农学院在渭北旱塬试验的结果表明,作物产量与耗水量之间不是线性关系,而是二次曲线关系(图 1)。即在供水严重不足时,增加土壤水分,作物产量迅速上升;当水分供应达到一定水平时,产量不再增加,此时产量属最高产量;若供水量继续增加,虽然耗水量随之上升,但产量却下降。河北省农科院衡水农技中心的试验表明(图 2),在不同的地力条件下,农田水分利用效率与灌水量之间均呈非线性关系,当灌水量到一定程度(曲线的拐点)后,水分效益急剧下降。可见,在作物高产范围内适当降低灌溉定额,实行低定额灌溉,可以同时达到节水和高产的目的。

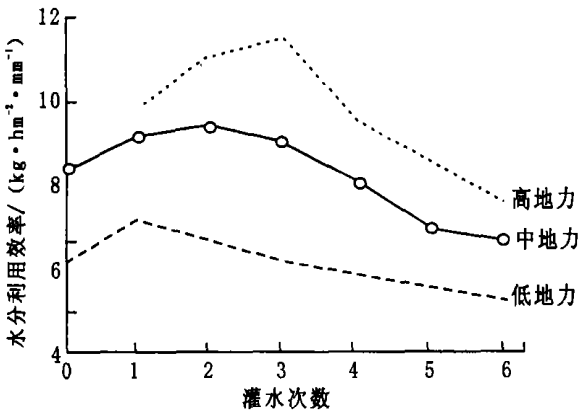


图 2 不同地力条件下水分利用效率与灌溉量关系图

表 1 不同供水条件下小麦籽粒灌浆进程表 g/10 株

时期	日期(日/月)	正常供水	轻度干旱	中度干旱	严重干旱
灌浆初	13/5	1.31	1.31	1.58	1.95
灌浆中	20/5	3.92	4.23	4.79	4.10
灌浆中	27/5	7.34	8.92	8.18	7.87
灌浆后	1/6	12.62	11.06	10.95	7.33
蜡熟	7/6	13.45	12.34	11.51	10.35
完熟	15/6	14.40	14.24	13.23	9.77

2 节水灌溉制度

作物需要水量是确定灌溉制度的基本理论依据。以往普遍认为,作物需水量随着产量的提高而增加。因此,需获得作物高产,就一定得增加灌水,而要节水,就难于实现高产。西北农林科技大学水利与建筑学院和陕西省水土保持局的大量试验资料表明,在适宜的土壤水分条件下,尽管由于生产条件和农业措施的不同,使作物产量有较大的变化,但需水量则比较稳定。从试验所获得的小麦单产 7 500 kg/hm²、玉米单产 7 500 kg/hm²、棉花单产 1 500 kg/hm²、油菜单产 3 000 kg/hm² 以上的需水量,均与中产水平的需水量相似。据此可以认为,在保证适宜的土壤水分条件以后,水就不再成为作物高产的限制因素,作物产量的提高,则依赖于栽培环境和其它农业措施的改进与优化组合。

为了达到农作物高产和节水的双重目的,节水型灌水制度所追求的不是充分满足作物的需水量,而是满足作物高产的相对最小需水量。据此来制定各种作物不同降水年型(干旱年、平水年、丰水年)的灌水次数、灌水时期和灌水定额。制定节水灌溉制度,应遵循以下几条原则:

2.1 缩小灌溉湿润层深度

灌溉水的湿润层深度是确定灌水定额的主要指标。从既要节水又不影响作物高产的目的出发,适当缩小灌溉湿润层深度,是完全可行的。作物的根系 90% 以上分布于 50~70 cm 深的土层中,只要保证这个深度内有适宜的水分,就可以满足作物需要而获得高产。玉米是需水量较多的作物,但试验结果表明,即使是在近于绝收的特大干旱年份,按计划层 60 cm 深度灌一水,单产为 6 825 kg/hm²;灌二水,单产为 8 142 kg/hm²,均达到了高产水平。冬小麦在干旱年按 50 cm 深度计划层灌水,比 90 cm 深度计划层灌水,灌溉定额减少 1 410 m³/hm²,而产量只相差 112.5 kg/hm²。上述结果说明,把计划层深度由 80~100 cm 缩小到 50~60 cm,既可保证作物高产,又可节约大量灌溉用水。

2.2 降低适宜土壤水分指标

田间灌溉试验结果表明,农田土壤水分过高,造成过分湿润的环境条件,既会引起作物生长过旺、又容易滋生病虫害,对高产反而不利。特别是在作物生长的非关键需水期,维护较低的土壤水分条件,对作物产量并无明显影响。据试验,玉米在孕穗至灌浆阶段如能保证 65% 以上的土壤水分,只要能维护正常水分,仍然可以达到高产。小麦、油菜在生长后期,棉花在生育前、中期,对水分条件的要求都比较低,如果把适宜土壤水分下限指标降低 5%~10%,即可达到少灌溉次数和降低灌溉定额,实现高产节水灌溉的目的。

2.3 利用深层土壤储水

深层土壤储水对补偿浅层水分不足,增强作物耐旱能力,有着重要作用。据测定,我国北方旱农区的主要作物利用深层水分的能力都可以达到 2 m 土层以下,尤其是越冬在熟作物(如冬小麦、冬油菜)利用 1 m 以下土层的储水量约上中总需水量的 1/10 以上,这对保证作物高产节水灌溉,是十分重要的。

2.4 按“基本灌溉”的原则供水

根据作物需水规律、气候特点以及灌溉的增产效果,建立基本灌溉制度,即从作物全生育期的整体需要出发,确立能够满足或基本满足作物在常年或干旱年份需水要求的灌水次数、灌水时间和灌水定额,其余需水则靠不规则的降水和土壤储水来补充。“基本灌溉”原则的实施,为半湿润和半干旱地区充分利用自然降水和土壤储水,实现高产节水灌溉,提供了重要的保障。

根据上述原则,西北农林科技大学水利与建筑工程学院科研人员提出了陕西关中地区小麦—玉米一年两作制和棉花、油菜的节水灌溉方案。其中,小麦—玉米一年两作制干旱年灌水次数为 4~5 次,灌水定额 2 475~3 150 m³/hm²,平水年灌水次数为 3~4 次,灌水定额 1 950~2 475 m³/hm²,丰水年灌水次数为 2~3 次,灌水定额 1 275~1 950 m³/hm²;棉花干旱年灌水次数为 2~3 次,灌水定额 1 500~2 100 m³/hm²,平水年灌水次数为 2~3 次,灌水定额 1 500~2 025 m³/hm²,丰水年灌水次数为 1~2 次,灌水定额 900~1 425 m³/hm²;油菜全生育期灌水 2 次,灌水定额 1 200~1 275 m³/hm²。该灌溉方案经在宝鸡峡、泾惠渠、交口抽渭、洛惠渠 4 大灌区大面积示范推广,节水增产效果显著。据 1986~1989 年的调查统计,涉及耕地面积约达 16 万 hm²,每年节约灌溉水 3.77 亿 m³,平均每公顷节水 1 687.5 m³。4 年平均全灌区粮食产量 8 034 kg/hm²,棉花产量 906 kg/hm²,分别较实施前增产 56.9% 和 96.7%,并出现许多每公顷粮食达 15 000 kg、棉花超 2 250 kg,油菜过 3 750 kg 的高产田块。从而充分显示了节水灌溉制度对于高效利用灌溉水资源,促进黄土高原水土流失区农业和粮食持续增长的重

要意义。

3 节水灌溉技术

随着科学技术的进步,节水灌溉技术也在不断的发展和完善。根据黄土高原水土流失区的自然和社会经济条件,参考国内外其它地方的实践经验,可在本区内推广的节水灌溉技术有以下几种类型。

3.1 地面节水灌溉

地面灌溉是黄土高原水土流失区目前而且还会是今后相当长时期内的主要灌水方式,主要有小畦“三改”灌水技术、涌流灌溉和膜上灌等。

(1)小畦“三改”灌水技术是把长畦改短畦、宽畦改窄畦、大畦改小畦的灌水方法。其畦田宽度,自流灌区为 2~3 m;畦长:自流灌区以 30~50 m 为宜,最长不超过 80 m,机井或高扬程灌区以 30 m 左右为宜。畦埂高度一般为 0.2~0.3 m,底宽 0.4 m 左右,地头、路边埂可适当加厚培宽。陕西省洛惠渠、渭惠渠灌区,推行小畦“三改”灌水技术后,作物生育期灌水量降低了 20%~30%,灌水均匀度达 80% 以上,在同等条件下,增产率达 10%~15%。在井灌区试验,灌溉效率可提高 60%,大大降低了灌水的成本。

(2)涌流灌溉是间歇地、周期性的将上游输配水渠中的水流引入到田间的沟或畦内,由沟(畦)首端逐段向前推进至末端。因此完成一个沟(畦)的灌水过程将包括几个放水和停水周期,在间歇断水期间,前期已湿区段土壤入渗能力降低,地表粗糙率变小,因而再次灌水时向下游推进的地表水流流量相对增大,地表对水流的阻力减小,地表水流速度相应加快,上下游入渗水量和入渗历时差值相对降低,灌水趋于均匀,同时涌灌更有利于实现小定额灌水。据陕西泾惠渠灌溉试验站的大量试验资料表明,涌流灌溉比同条件下的连续灌溉节水 10%~40%,平均节水 25%。同时,涌灌还可减少深层渗漏,能较好地解决长沟(畦)灌水难的问题,试验确定的计划灌水深度为 18.76 cm,实际涌灌平均水层厚度为 20.58 cm,而连续灌平均水层厚度达 26.50 cm。从表 2 可知,涌灌不仅节水,而且灌水质量优于连续灌溉。

表 2 涌灌与连续灌溉水质量比较表 %

灌水方式	灌水效率	储水效率	灌水均匀度
连续灌①	61.7	81.8	80.2
涌灌②	81.9	96.8	88.5
②—①/①	32.7	18.3	10.3

(3)膜上灌是利用地膜栽培,在灌溉时水从地膜上流动,并通过膜孔(含放苗孔和专用灌水孔)慢慢流入到作物根部土层,以满足作物各生育期需水要求的节水灌溉方法。由于膜上灌是利用地膜输水,防止了水流对土壤的直接冲刷和侵蚀,因而可以避免田间土、肥流失。通过膜孔灌水,实现了局部灌溉,在棉花保留 18 万株/hm² 的情况下,放苗孔总面积为 180 m²/hm²,加上专用灌水孔面积,其灌水总面积约占应灌面积的 2.5%,就是说尚有 97% 以上的面积是靠膜孔旁渗实现灌溉的,因此小水浸润的特点非常突出。在膜两行种植的情况下(畦宽 1.0 m),1 m 膜畦的灌水强度为 2.5~5.4 L/(h·m)和滴灌带的灌水强度 3.7 L/(h·m)相近。由于灌水强度微弱,对土壤结构破坏很小。据四次灌水后实测,土壤干容重为 1.49 g/cm³,比第一次灌水前的 1.41 g/cm³,增加不到 6%。而地面灌水可达 1.6 g/cm³,比灌前增加 14%。膜上灌可根据生产需要,调整灌水定额,变化范围可从 75~600 m³/hm³,这就为合理用水,节约用水创造了条件。试验证明,通过膜孔灌水,田间土壤含水量的增加量,主要集中于膜

下,与膜侧沟灌相比,在相同灌水定额下,膜上灌比膜侧沟灌提高 4.5 倍。由于膜下土壤含水量大幅度增加,提高了膜下土壤的热容量,有利于农田吸热和储热,同时也减少了膜侧土壤水分蒸发所带来的地热消耗,因此地温较高,增加了作物生产所需的热能供应量,为农作物优质高产创造了条件。

3.2 地上节水灌溉

地上节水灌溉技术主要有滴灌、喷灌、雾灌和涌泉灌等类型。喷灌可比传统渠畦地面灌溉节水 30% ~ 50%,占地减少 1% ~ 3%。滴灌是用出水口很小的滴头,孔口或滴灌带等灌水器,将水一滴一滴均匀而缓慢地滴在作物根部附近土壤中。从表 3 看出,滴灌比地面灌溉增产 17.9% ~ 20.3%,水分利用效率提高 4.77 ~ 5.28 kg/(hm² · mm)。

3.3 地下节水灌溉

地下灌溉是目前节水灌溉较为理想的一种,它主要有以下优点:由于采用管道输水,输水过程中基本没有水分损失;地表含水少,减少了蒸发,使水的利用率得到提高,比喷灌还节水 50% ~ 70%;灌水时可使根层土壤孔隙短时间内完全充水,供应水、肥稳定,水、气、热比例协调,保持良好的土壤结构,对作物增产作用显著;该灌溉方式基本不占用农田,也不妨碍农机作业、田间管理及交通;表层土壤含水量小,地表湿度低,有利于抑制杂草、病虫害。由于地下灌溉的优点突出,因而是一种最有发展前途的节水灌溉技术,尤其是将该技术与近年来黄土高原水土流失区各地广泛倡导的径流集蓄工程相结合,成为高效利用径流资源的有效途径。

表 3 小麦不同处理的水分利用效率表(1996 年)

代号	处理	萌芽期土	收获期土	生育期有	生育期	生育期	产量	水分利用效率
		壤 贮水量	壤 贮水量	效降雨量	灌水量	耗水量		
		/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	/(kg · hm ⁻²)	· mm ⁻¹)
	滴灌覆盖	114.8	122.4	344.6	131.4	468.4	5175	11.06
	滴灌不盖	119.3	110.8	344.6	128.7	481.8	4917	10.20
	地面灌覆盖	105.6	142.3	344.6	452.7	760.6	4391	5.78
	地面灌不盖	106.7	153.3	344.6	446.2	744.2	4086	5.43

4 旱地作物补充灌溉

近几年来黄土高原水土流失区各地广泛开展的旱地作物补充灌溉田间试验研究表明,只要灌溉时期得当,灌溉定额合理,并配合以覆盖保墒等旱作技术,既可达到节约灌溉用水,又可提高灌溉水的利用效率,增产效果显著,成为发展干旱地区“两高一优”农业的有效途径。在旱地作物补充灌溉中,应注重以下三个方面。

(1) 作物的不同生长发育阶段对水分的需求各不相同,因而对干旱胁迫的敏感程度有明显差异。在利用有限供水进行农田补充灌溉时,必须依据各种作物的需水规律,确定最佳的灌溉时期,以充分发挥有限的水资源的增产效益。总的来讲,补充灌溉应优先满足作物需水临界期的水分供应。中国农业科学院在山西屯留的试验表明(表 4),冬小麦拔节期缺水(即拔节期不灌溉),产量损失最大,越冬前次之。不同时期灌溉对冬小麦均有增产效果,其中拔节期灌溉增产效果最为显著,可增产小麦 1 350 kg/hm²,增产幅度 45%,占总增产量的 53.6%,边际产量达 15 kg/(hm² · mm);其次为冻水,在冬前日平均气温 3 ~ 5 时浇水一次冻水,可增产小麦 861 kg/hm²,增产幅度为 26.7%,占总增产量的 34.2%,边际产量达 9.6 kg/(hm² · mm),而灌浆水仅增产 36.0 kg/hm²。因此,本区冬小麦最佳灌溉时期为拔节期,其次为越冬前。其中原因有两个:一是拔节期为冬小麦的需水临界期,此时作物对缺水量敏感;二是本区冬小麦拔节期春旱严重,试验年份

降水及土壤水分不足,需水关键期缺水严重。因此,拔节期补充灌溉能取得最大的增产效果。越冬前灌溉由于补充了土壤深层储水,在春季可供作物耗水,因而增产效果也较好。

(2) 作物的正常生长发育离不开水分,但水分并非越多越好。开展补充灌溉,必须确定适宜的灌溉定额,灌水量过少,则增产效果不显著,灌水量太大,则水分利用效率不高,边际产量下降,甚至出现减产。在生产实践中,改常规的高定额充分供水为新型的低定额补充灌溉,可大大节省灌溉用水,提高灌溉效益。西北农林科技大学水土保持研究所在渭北塬区进行低定额灌溉试验,灌溉定额由 2 167.5 m³/hm² 减少到 1 182.0 m³/hm²,灌溉水减少 45.5%,而冬小麦的产量仅比常规灌溉定额减少 90.0 kg/hm²,减产率仅 3.8%。常规灌溉定额的灌溉水利用效率为 0.32 kg/m³,低定额灌溉的为 0.53 kg/m³,后者比前者提高 65.6%(表 5)。

表 4 冬小麦不同时期灌溉的增产效果表

项 目	越冬前	拔节期	孕穗期	灌浆期
不灌溉区产量/(kg · hm ⁻²)	3246.0	3000.0	3540.0	3658.5
灌溉区产量/(kg · hm ⁻²)	4107.0	4350.0	3811.5	3694.5
灌溉增产/(kg · hm ⁻²)	861.0	1350.0	271.5	36.0
增产率/%	26.7	45.0	7.7	1.0
累计增产/(kg · hm ⁻²)	861.0	2211.0	2482.5	2581.0
增产率/%	34.2	53.6	10.8	1.4
边际产量/(kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)	9.60	15.00	3.00	0.45

表 5 不同灌溉定额对冬小麦产量和水分利用效率的影响比较表

项 目	处 理	1977	1978	1979	1980	平均	比常规定额灌溉增减
灌溉定额($\text{m}^{-3} \cdot \text{hm}^{-2}$)	常规定额	1965	1800	2880	2025	2167.5	—
	低定额	1455	1185	1080	1005	1182.0	- 985.5
	产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	2500.5	2248.5	2625.5	2139.0	2379.0	-
	低定额	2517.0	2137.5	2505.0	1996.5	2289.0	- 90.0
	不灌溉	1767.0	1747.5	1851.0	1466.0	1702.5	- 676.5
灌溉水利用效率	常规定额	0.38	0.28	0.27	0.34	0.32	—
	低定额	0.52	0.42	0.61	0.55	0.53	0.21

表 6 旱作和限量供水条件下不同覆盖方式增产效果

供水状况	地膜覆盖增产量				秸秆覆盖增产量			
	1990	1991	1992	平均	1990	1991	1992	平均
	kg/hm ²							
旱作	988.5	294.2	252.6	511.8	187.8	181.5	108.8	159.3
一水(45 mm)	964.5	484.2	237.6	562.1	371.6	296.6	133.8	267.3
二水(90 mm)	679.1	207.6	251.3	379.3	- 166.7	206.6	371.3	137.1
平均	847.4	328.7	247.2	484.4	130.9	228.2	204.6	188.0

(3) 表 6 为中国农业科学院在山西屯留试验区进行的灌溉定额试验结果。由表中可看出,随着灌溉定额的增加,小麦产量也随之增加,但增产幅度呈非线性关系。当灌溉定额较小时,增产幅度变化缓慢,当灌溉定额增加到一定程度,产量大幅度提高,而后随灌溉定额的增加,增加幅度的变化又趋缓慢。根据 16 个处理的试验结果,可求得增产(ΔY, kg/hm²)与定额(L, mm)之间呈如下的 S 型曲线关系:

$$\Delta Y = \frac{2518.65}{1 + e^{3.32 - 0.04L}} \quad (R = 0.9871^{**})$$

以上典型二阶导数为零的点,即是公式所代表曲线的拐点,也是边际产量最高点。不难算出,当灌溉定额为 133 mm 时,灌溉的增产效益最高,其边际产量高达 25.2 kg/(mm · hm²)。所以该地区冬小麦最经济灌溉定额为 133 mm 左右。当然,在不同的降水年型,补充水分在 138 ~ 231 m³ 之间。而同等补灌量和次数以覆膜的保水作用高于覆草,一般可比露(下转第 102 页)

新的陆地不断形成,一些水生、湿生植物群落首先形成,随着地面抬高和土壤盐分的急剧变化,植物群落随之发生演替,其种类组成及结构发生明显变化,表现出极不稳定的特性。

4 结论与讨论

黄河三角洲地区受多种因素的影响,自然灾害比较严重,同时,开发过程中也人为引发一些不利影响,它们都制约着三角洲地区社会经济的持续、协调发展。

黄河三角洲地区的土壤类型主要是潮土和盐土两大类。从内陆向近海,土壤逐渐由潮土向盐土递变,多数土地后备资源土壤呈现高盐性,且地势洼,地下水位很浅,蒸降比为 3.5-1,新生土壤次生盐渍化严重。在这种土壤条件下形成的天然植被以草甸为主,天然植被主要有湿生植被和盐生植被两种植类型,包括 10 余种群落;原始林荡然无存,次生林

参考文献:

[1] 毛汉英,赵千钧,高群.生态环境约束下的资源开发的思路与模式[J].自然资源学报,2003,18(4):459-466.
[2] 许学工.黄河三角洲生态系统的评估和预警研究[J].生态学报,1996,16(5):461-468.
[3] 江泽慧.林业生态工程建设与黄河三角洲可持续发展[J].林业科学研究,1999,12(5):447-451.
[4] 郗金标,宋玉民,邢尚军,等.黄河三角洲生态系统特征与演替规律[J].东北林业大学学报,2002,30(6):111-114.
[5] 赵延茂,等.黄河三角洲自然保护区科学考察集[M].北京:中国林业出版社,1995.
[6] 陈汉斌,郑亦津,李法曾.山东植物志(上卷)[M].青岛:青岛出版社,1992.
[7] 陈汉斌,郑亦津,李法曾.山东植物志(下卷)[M].青岛:青岛出版社,1997.
[8] 张建锋,邢尚军,郗金标,等.黄河三角洲可持续发展面临的环境问题与林业发展对策[J].东北林业大学学报,2002,30(6):115-119.
[9] 宋玉民,张建锋,邢尚军,等.黄河三角洲重盐碱地植被特征与植被恢复技术[J].东北林业大学学报,2003,(6):87-90.
[10] 邢尚军,郗金标,张建锋,等.黄河三角洲植被基本特征及其主要类型[J].东北林业大学学报,2003,(6):85-86.

(上接第 69 页)

地少耗水 12.9~53.9 mm。但各处理在生育期间的耗水量总趋势是随补充供水量的增加而增加。不同覆盖方式和不同补充灌溉的产量性状表现为:地膜覆盖>秸秆覆盖>露地,补充二水(90 mm)>补充一水(45 mm)>旱作。在旱作和限量供水条件下,采用秸秆覆盖一般增产小麦 108.8~371.6 kg/hm²,平均为 188.0 kg,增产率 6.97%,而地膜覆盖则增产

参考文献:

[1] 李素青.山西省生态环境破坏对可持续发展的影响及对策研究[J].干旱区资源与环境,2005,23(2):56-61.
[2] 刘巽浩.对西北旱区农业发展战略的思考[J].干旱地区农业研究,2005,24(10):1-2.
[3] 常欣,程序.黄土高原农业可持续发展方略初探[J].科技导报,2005,23(1):52-56.
[4] 何文清,高旺盛,董志斌.论黄土高原生态保护与农业生产的协调发展[J].干旱地区农业研究,2004,23(1):183-187.
[5] 王健.黄土高原丘陵沟壑区水资源高效利用技术试验研究[J].水资源与水工程学报,2005,15(4):25-38.
[6] 彭珂珊,谢永生.退耕还林(草)工程发展模式的探讨[J].世界林业研究,2004,17(3):56-59.
[7] 上官周平.黄土高原粮生产与持续发展研究[M].西安:陕西人民出版社,1999.166-171.
[8] 常庆瑞,安韶山.黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):6-9.
[9] 上官周平.中国粮食问题观察[M].西安:陕西人民出版社,1998.1-7.
[10] 廖力君,米文宝,杨美玲.宁夏南部山区生态重建初步研究[J].水土保持研究,2005,12(2):166-169.
[11] 卢宗凡.中国黄土高原生态农业[M].西安:陕西科学技术出版社,1997.1-3.
[12] 常庆瑞,安韶山.黄土高原不同树种防止土地退化效益研究[J].干旱地区农业研究,2000,18(1):108-112.
[13] 彭珂珊.黄土高原水土流失地区农业(粮食)生产防旱体系配套技术工程之分析[J].宝鸡文理学院学报(自然科学版),1996,(5):195-208.
[14] 王继军.陕北丘陵区农业经济发展战略研究[J].水土保持研究,2000,7(2):22-24.
[15] 刘京,常庆瑞.连续不同施肥对土壤团聚性影响的研究[J].水土保持通报,2000,20(4):24-26.
[16] 安韶山,常庆瑞,李壁成.不同林龄植被培肥改良土壤效益研究[J].水土保持通报,2001,21(3):75-77.
[17] 李志熙,杜社妮,彭珂珊.浅析农业庭院经济[J].水土保持研究,2004,11(3):272-274.
[18] 李志熙,白岗栓.西部生态环境建设中的问题与解决方案[J].水土保持研究,2004,11(2):145-149.

以滩涂柽柳林为主,人工林以刺槐林为主,且分布不均。这些植被形成时间较短,群落稳定性差,种类组成单调,植被组成以草本植物为主,由此构成的陆地生态系统骨架不稳固,生态系统脆弱。

黄河三角洲的开发正在进入一个新的时期,与以往不同的是现在走综合开发、全面发展之路,既注重开发利用资源、发展经济,又强调整治环境、维护生态平衡。在这样的情况下,发展林业是十分必要的。由于树木自身的特点,它拥有较强的抵御外界不良环境的能力,合理的结构配置,使树木能够涵养水源、保持水土、防止风沙、调节气候、减轻污染、绿化、美化环境^[2,9],所以为了在三角洲地区缓解环境恶化,维护生态平衡,应当因地制宜,大力培育木本植物植被,增加植被种类,建立结构稳定、功能健全的陆地生态系统骨架。