

# 节水农业及其生物学基础<sup>\*</sup>

山 仑 张岁岐

(中国科学院水土保持研究所 陕西杨陵 712100)  
(水利部)

**摘 要** 发展节水农业是促进我国北方地区国民经济持续稳定发展的战略选择。论述了节水农业的原理及技术体系,并着重就节水农业的生物学基础及生物学研究成果在节水农业中的应用前景进行了探讨,认为我国发展节水农业应采取综合技术途径,但生物节水技术是进一步实现节水增产的潜力所在。最后就我国当前节水农业的发展提出了建议。

**关键词** 节水农业 生物节水技术 综合技术

## Water Saving Agriculture and Its Biological Basis

*Shan Lun Zhang Suiqi*

*(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences  
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)*

**Abstract** Developing water saving agriculture is the strategical choice to promote sustainable and stable development of national economic in north China. The principle and technical system were expounded, the biological basis of water saving agriculture and its application perspective in water saving agriculture were emphatically discussed. Author pointed out comprehensive technical approach should be selected to develop water saving agriculture in China, but biological water saving technique would play bigger role in futhur. Finally, author presented the suggestion to develop water saving agricultrue in current.

**Key words** water saving agriculture biological water saving technique comprehensive techniques

## 1 对节水农业的认识

### 1.1 节水农业的目标

从社会需求看:推行节水农业既是农业自身发展的需要(包括改善农业生态环境、建立现代高效集约农业),也是缓解我国北方地区社会水资源紧张状况,促进整个国民经济持续稳定发展

。 收稿日期:1999- 01- 10

\* 在“中国节水农业问题”绿色论坛上的报告。

的一项重大战略措施。因此, 我们认为: 在保持农业以正常速度增长的同时, 保持水资源的持续利用和区域平衡, 大幅度地节约农业用水应是节水农业的一个总目标。所谓“大幅度”节约农业用水, 不仅要提高单位面积的水利用率, 更要把农业用水总量、包括农业用水在整个国民经济用水中的比例降下来, 由于工业发展和城市化加剧, 在一个时期内降低农业用水比重将是不可避免的。要做到这一点, 必须立足于系统科学技术的运用, 整个农业用水制度的变革, 乃至农业灌溉用水指导思想的转变。诸如我国灌溉面积今后是应尽量扩大还是适度扩大? 是主要靠新建灌溉工程来扩大, 还是主要利用现有设施通过节水来扩大? 以及节水与增产如何有效结合等等。

从科学技术角度看: 节水农业系指在半干旱半湿润地区充分利用自然降雨的基础上高效利用灌溉水的农业。节水农业所要解决的中心问题是如何提高农业生产中水的利用率和利用效率, 即在灌溉农业中如何做到在节约大量灌溉用水的同时实现作物高产, 在旱作农业中则力求增加少量补充供水以达到显著增产。故节水农业应包括三种农业类型: 节水灌溉、有限灌溉、旱作农业 (包括雨水集流补灌)。节水灌溉是常规灌区最主要的农业灌溉类型。有限灌溉系指缺水地区利用补充灌溉仅能部分满足作物对水分需求的一种方法, 是旱地栽培与有限供水相结合的一种作物管理制度, 可将其定义为: 根据水资源状况和作物需水规律, 在充分利用自然降水的基础上进行低限补充供水的一种节水农业类型, 是当前发展节水农业的一种新趋向。在科学技术不断进步的基础上, 如能做到对灌水的定时、定量精确控制, 则有限灌溉可能成为未来农业供水的一种主要方式。

1.2 节水农业原理与技术体系

结合当前科技发展状况, 我们认为可将节水农业的技术原理和途径归结为图 1 所示:

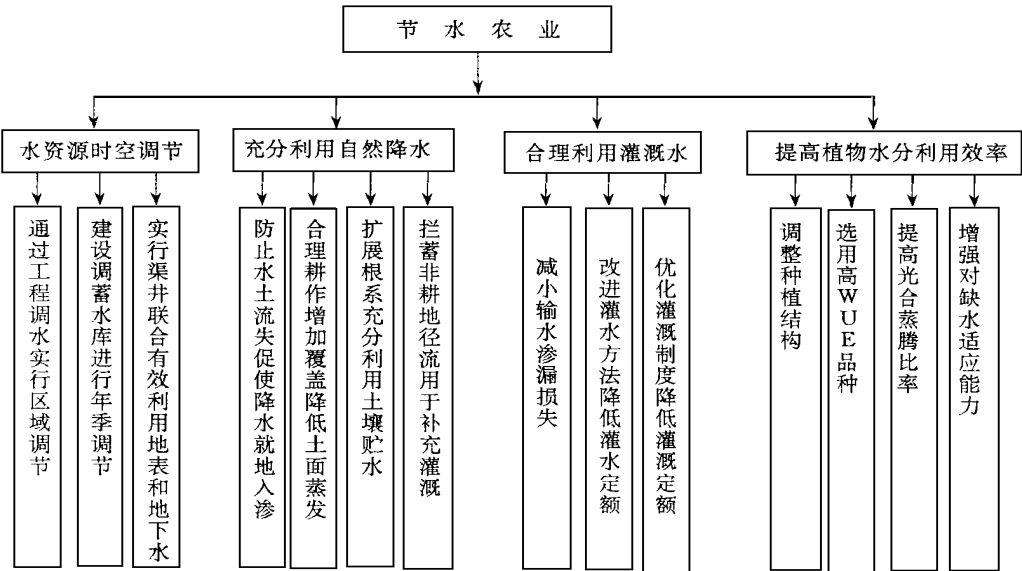


图 1 节水农业技术原理及途径

从上图中可以看出: 节水农业是一项系统工程, 要提高水的利用率和利用效率, 实现节水增产的双重目标, 必须围绕最大限度地提高下述比率: 土壤储水/降水量(灌水量)、耗水量/土壤储水量、蒸腾量/耗水量、生物量/蒸腾量、经济产量/生物量。而要实现提高上述 5 个比率的目的, 则

必须采取包括工程、农业、生物等综合技术措施。其中, 农业节水技术与农业生产过程紧密联系在一起, 投资少, 易于推行, 可以在较大范围内起作用; 工程节水技术措施虽然造价高, 但由于技术规范, 作用显著, 不同国家在推行节水农业的初级阶段, 工程节水措施总是处于主导技术地位。例如以色列为了解决南北水分供需不平衡问题, 修建了全国性的水网工程, 历时 11 a, 耗资 1.47 亿美元, 修建主管道 130 km, 400 个扬水站, 5 000 km 的输水分管道, 在实施严格水管理的前提下, 在 80% 灌溉地上修建了滴灌系统, 同时采取了以工程为主的综合节水措施, 农业产值增加了 16 倍, 灌溉水利用系数达到 0.9, 单方水的增产率达到 2.32 kg。但他们认为进一步提高灌溉水利用系数与增加蒸腾/蒸发的潜力已经不大。因此他们今后的工作重点放在如下两个方面: 一是工业废水与劣质水的利用, 目前灌溉水的 25% 来自于工业废水, 预计到 2010 年将达到 50% 以上; 二是提高蒸腾水利用效率(生物节水途径), 他们认为这一方面潜力很大, 但解决这一问题目前尚有许多科学技术问题需要解决。

我国目前尚处于发展节水农业的初级阶段, 由于地域辽阔, 地形气候复杂多样, 与发达国家相比尚有较大差距, 正因为如此, 才更应采取综合技术途径来发展节水农业。目前我们已据此原则在陕西省富平县开始试点并已初步取得了一批有价值的结果。

生物节水技术是按照作物需水规律制订的, 它的直接作用是提高蒸腾水的利用效率, 同时也是采取相应的工程和农业节水措施的依据(如不同作物需要多少水? 什么时候需水? 等等)。现已明确生物节水技术是进一步实现节水增产的潜力所在, 也是节水农业中未知数最多的领域, 下面将着重讨论节水农业生物学基础方面的问题。

## 2 节水农业的生物学基础

在半干旱半湿润地区, 水分亏缺在作物生长期内是不可避免的, 问题在于要获得一定高产, 允许植物水分亏缺到什么程度。

在水分条件与作物产量的关系上, 长期以来存在着两种不同的观点: 一种认为任何时期、任何程度的水分亏缺(不足)都将造成作物减产, 为了获得高产, 整个生育期都必须保持充足供水; 另一种观点则认为充足供水与适当控水交替对产量形成更为有利。现在这一问题已逐步得到明确, 但机理和细节还不十分清晰, 因而尚难以在实践中得到广泛应用。现就我们的研究结果和已有报导资料, 归结为以下几个问题:

### 2.1 水分亏缺对不同生理过程的影响程度

已有资料表明: 水分亏缺对与产量形成密切有关的各个生理过程的影响程度和顺序不同。其中生长对干旱的反应最为敏感。物质运输则最为迟钝, 不很严重的干旱反而对物质运输有促进作用。在轻度干旱条件下, 叶片生长受抑, 而光合则未受影响, 复水后反而略有升高; 适度干旱情况下, 小麦籽粒对花期光合产物的利用率高于正常供水处理(前者为 87%, 后者为 73%)。干旱对禾谷类作物不同生理功能影响的先后顺序为: 细胞扩张(生长) 气孔运动 蒸腾作用(水分散失)

光合作用( $\text{CO}_2$  同化累积) 物质运输(产物分配)。可利用这一结果采取诸如避免生长盛期和授粉授精期严重干旱、灌浆期适度干旱等有利于节水增产的措施。

### 2.2 作物不同发育段对水分亏缺的敏感性

研究早已证明, 作物不同发育阶段对水分亏缺的敏感性不同, 存在需水临界期和供水临界期问题, 对于多数禾谷类作物而言, 花粉母细胞形成到开花授粉期对缺水最为敏感。我们近期的研究表明: 禾谷类作物苗期—拔节前, 轻—中度干旱后复水在生理生长和产量上可产生良好效

果,对谷子而言同化能力增长超过一直充足供水处理(包括光合速率、叶绿素含量、叶面积),同时光合增加显著超过了蒸腾增加,显著提高了水分利用效率;对盆栽高粱而言,拔节前处于轻度至中等程度水分亏缺,随后复水的处理与一直处于充足供水的对照相比,产量提高了 15.5%,水分利用效率 WUE 提高了 25.8%,且复水后保持了较高的水势和较低的渗透势,其光合和气孔导度也超过对照;对春小麦而言,田间试验拔节前浇水  $600\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,为充足供水量的 25%,产量则达到了充分供水的 75%,WUE 达到最大值的 95%,灌溉水利用效率为  $42\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{hm}^2)$ ,对土壤储水的利用率也提高了 62%。上述结果说明:一定生育阶段一定程度的水分亏缺可使禾谷类作物在节约大量用水的同时获得较高产量。

### 2.3 不同作物和品种对水分亏缺的反应

不同作物和品种对水分亏缺的反应不同,这集中表现在其水分利用效率差异上。研究证明:作物种间 WUE 存在很大差异,通常可达到 2~5 倍。作物品种间 WUE 差异较小,但常也很显著,如苜蓿不同品种的 WUE 可相差 30% 以上,小麦不同品种的 WUE 可相差 40%,这就意味着不同小麦品种消耗相同数量的水分,其产量可相差 40% 以上。我们最近的研究表明:在小麦由  $2n$   $6n$  的进化过程中,WUE 有递增趋势。现代栽培品种 WUE 最高与最低相差约 1 倍。田间试验发现小麦与马铃薯对干湿交替供水方式反应最好,玉米最差。这为缺水区作物选择和合理布局提供了重要依据,同时也说明节水农业中培育抗旱高 WUE 品种存在很大潜力。

### 2.4 产量、耗水量、水分利用效率间关系

作物水分利用效率的高值往往是在中等供水条件下、而不是在充分供水条件下获得的,这也说明限量供水的必要性。我们在宁夏南部山区的一项试验表明,旱地春小麦在补充灌水条件下,籽粒产量  $(Y/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$  与耗水量  $(X/\text{mm})$  呈抛物线的相关关系:  $Y = -7\,269.75 + 52.2x - 54.15 \times 10^{-3}x^{-2}$  ( $r = 0.995$ )。统计分析结果:当耗水量(ET)增大至 481 mm 时,籽粒产量最大值为  $5\,310\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,进一步增大 ET,籽粒产量则呈下降趋势。春小麦水分利用效率与 ET 之间的关系显示,当 ET 为 366 mm 时,产量达到  $4\,545\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,WUE 为  $12.42\text{ kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ ,达到最大值;随着 ET 继续增大,作物 WUE 则呈急剧下降趋势;分析还表明,当 ET 达到最大产量所需耗水的 76.2% 时,作物 WUE 最高,而这一 ET 条件下的产量为最大产量的 86.5%,但比最大产量所需耗水量却减少了 115 mm。因此,旱作条件下补充少量灌溉水同步提高产量和 WUE 是能够实现的,但最大产量与最大 WUE 对 ET 反应存在着不吻合现象,值得进一步深入研究。

表 1 适度干旱下作物产生的补偿效应*		
生理反应方面	水分利用方面	生长和产量方面
高水势下保持低渗透势	蒸腾速率迅速恢复	新生叶片加速生长
气孔调节能力增强	总耗水量下降	上部叶面积增大根冠比增大
细胞持水能力增大	作物水分利用效率提高	日干物质增长率加快
叶绿素含量增加	灌溉水利用效率显著增高	千粒重增加(粒数减少)
保护酶活性增强		经济系数提高
光合速率提高		最终产量不减或略升,略降
物质运输加快		
再度受旱时膜伤害出现推迟		

\* 指一定生育时期轻—中度受旱后复水,生理上和产量构成上可能产生的正效应。

从上述研究结果可以看出:干旱缺水并不总是降低作物产量,一定时期的有限亏缺可能对增产和水分利用有利,这一过程是复杂的,应继续加以研究。但总的可以解释为:干旱缺水对作物的

影响有一个从“适应”到“伤害”的过程,不超过适应范围的缺水,往往在复水后,由于产生了生理上、水分利用和生长上的补偿效应,将对作物增产更为有利(见表1)。作物水分关系的上述研究结果,已通过种植结构的调整、关键灌溉期的选择、品种运用以及合理增肥等技术在缺水地区得到一定应用,同时为突破传统的灌溉理论,推行节水农业和有限灌溉提供了有力的依据。但要使上述研究结论发挥更大效果,必须向“精确灌溉”方向发展,同时也应抓紧节水生理技术的研究和高WUE品种类型的创造和选育。

### 3 生物学研究成果在节水农业中的应用前景

#### 3.1 精确灌溉

精确灌溉必须以高新技术为手段,以作物需水规律为依据。90年代以来,农业空间信息技术(遥感、全球定位、地理信息)在宏观方面(如土地资源调查、农作物估产、自然灾害监测与评估等)取得广泛应用的同时,已开始向微观应用——精确农业方面转移,精确农业是高新技术与有关基础学科相结合的一种信息化现代农业,国外发达国家尚处于研究与实验阶段,根据我国国情,目前应用看来为时尚早,但是在有条件的地方实行精确施肥、精确灌溉等单项技术还是可以做到的。

实行精确灌溉,首先依据于对作物需水规律的正确认识(灌溉什么作物、什么时候需水、需多少、首先要作物回答),如前所述,已证明有限水分亏缺可使作物产生一定的补偿效应(即“有益”作用),并提出在缺水地区进行有限补充灌溉的主张,但是有限灌溉的原则,“有益”作用的产生,只有在应用精确灌溉方法后才可能实现,因为有限亏缺和严重亏缺,一定水分条件对作物“有益”还是“有害”,在复杂的田间条件下是处在迅速的变动之中的,如掌握不好,不及时准确,“有益”将很快转变为“有害”。因此实施精确灌溉必须具备三个条件:<sup>①</sup>掌握可靠详细的作物需水规律资料;<sup>②</sup>运用先进的信息化技术,主要是遥感技术和计算机自动监控技术;<sup>③</sup>提供使两者相衔接的大量技术参数,特别是作物水分亏缺程度指标(形态的、生理的、微环境的),并将这些指标转化为遥感标识和模型。因此,必须通过多学科协作,做大量工作,建议从现在起着手进行研究与开发,以便为未来推行更高层次上的科学用水和合理灌溉打好基础。

#### 3.2 创造高WUE品种类型

现已明确植物WUE是一个可遗传性状,通过引种和育种提高作物WUE完全有可能。过去的抗逆育种往往重视抗旱性的提高而忽略了高WUE品种的选育,由于作物的抗旱性本身与丰产性不易结合,表现在目前生产上的耐旱品种往往很少丰产,加之作物的抗旱性由多基因控制,而且通过多种途径实现,因此单从抗旱性上考虑显然不够,而高WUE有可能将丰产性和抗旱性结合为一体,其育种潜力或许更大。应用基因工程——DNA重组技术创造新的抗旱节水品种是一个新途径,从当前掌握的情况看,应用基因工程和常规方法培育抗旱高产品种的难度可能要大于培育高WUE高产品种的难度。现在国外已利用分子标记技术将WUE基因定位,我们课题组的研究发现小麦A染色体组上可能载有高WUE基因,这就为进一步将WUE基因定位和创造高WUE转基因品种创造了条件,但目前尚难以很快实现。因此,目前应从品种资源筛选工作开始,将常规技术与生物技术相结合,以常规技术为基础,并以高WUE为主要抗旱与增产相结合的育种目标,力争在生物技术上有所突破,这样才有希望获得成功。

(下转第13页)

长畦改短畦、宽畦改窄畦、大水漫灌改小畦浅灌, 可节水 30% 左右; 在粮田井灌区推广低压管道灌溉技术, 可节水 30% 以上; 在大棚蔬菜保护地推广渗灌技术; 在果园、大田蔬菜种植区, 推广喷灌和微灌技术(微喷和滴灌), 可节水 30% ~ 50%。

(4) 根据水资源时空分布特点和保证程度, 优化种植业结构和布局, 在水源保证率高的田块种植蔬菜, 在水源保证率较低田块种植果树和粮食作物, 而在旱地采取旱作措施种植粮食作物。

(5) 蔬菜和果园采用先进的栽培管理技术如: 大棚育苗、地膜覆盖、果实套袋、病虫害防治, 科学修剪等, 实行集约化管理经营, 以大幅度提高经济收益。

(6) 根据农牧结合的原则, 结合东新村交通地理位置优越的特点, 大力发展规模化商品养殖业, 从饲料来源、加工、产品销售等环节统盘考虑, 实行集约化经营。既可增加有机肥来源, 提高地力, 又可增加群众收入。

参加本次考察工作的还有蒋定生、王恒俊、刘忠民、张正斌、雍绍萍以及富平县水利局的赵铁涛、刘利平、闫小良、杨宝等同志。

---

(上接第 6 页)

## 4 结 语

目前, 我国农业整体上尚处于从传统粗放型向现代集约型转化的过渡阶段, 既要赶上新的科技革命的步伐, 又要进一步提高现有常规技术的普及程度, 在搞节水农业方面亦是如此, 与发达国家相比尚有很大差距。在这种情况下, 一方面我们应不失时机地抓紧节水农业的基础研究与现代高新技术的应用, 组织精干力量进行科技攻关, 同时也必须考虑到我国的实际情况, 即节水农业所处的发展阶段, 首先致力于常规技术的普及及其改进(常规技术并不意味着落后, 它也处在不断发展和更新之中), 下大力气建立起节水型农业体制(包括相应的法律、法规、管理、宣传等)。在节水农业和节水灌溉的技术应用方面我们建议当前应集中解决好以下四个方面的问题:

(1) 普遍采取渠道砌衬防渗和管道输水技术。目前我国灌溉水损失总量中的 80% 发生在从水源到田间的输水过程, 渠系水利用系数仅为 0.5 左右, 潜力大, 技术较成熟, 关键是资金问题, 故建议将其作为发展节水灌溉的首选技术列入国家基础设施规划, 加大资金投入和有效管理。

(2) 重视并因地制宜采取田间节水措施: 普及包括平整土地、改进地面灌溉(改大水漫灌为小畦灌、隔沟灌、波涌灌); 有选择地推行喷、滴灌, 主要用于设施农业、高产值农业、集雨补灌农业等。通力协作, 抓紧研制出适合我国国情的低成本高质量的喷滴灌设备, 包括配套设施及适用材料。

(3) 普遍推行防止土面蒸发技术(地膜、秸秆及其它材料覆盖), 土面蒸发占作物耗水量的相当部分, 可以通过运用农业技术来解决。

(4) 逐步增大处理后工业废水用于农业灌溉的比例并防止河水进一步污染(如目前黄河 18.1% 河段的水质已属于劣质水)。

总之, 我们只要立足现实, 面向未来, 切实推广已有常规技术, 抓紧研究开发高新技术。经过努力, 我国北方地区节水农业必将会有一个大发展, 节水增产的双重目标可以同时实现, 整个社会水资源紧缺状况将得到显著缓解。