

# 西北地区农业持续发展面临的问题和对策

李生秀

(西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 西北地区光热资源丰富, 耕地充足, 人口稀少, 增产潜力较大, 有着农业持续发展的潜力。干旱少雨制约着农业生产, 降雨分布不匀, 植被稀少而又人为破坏严重, 引起了严重的风蚀和水蚀, 导致了土地退化和生态环境脆弱。要发展西北旱地农业必须以高效利用天然降水为突破口, 以养分投入、培肥土壤为重点, 采用科学的方法控制土壤风蚀和水蚀, 退耕还林还草, 发展高效产业。

**关键词:** 降水; 养分投入; 沙尘暴; 水蚀; 覆盖; 西北旱地  
**中图分类号:** S—0      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-7601(2003)03-0001-10

人口增长和土地资源不足对世界各国农业生产造成巨大压力, 地表、地下淡水资源的过度消耗对进一步发展灌溉农业造成了极大困难。发展旱地农业, 保证旱地农业的可持续性是全世界农业发展的共同趋势<sup>[1,2]</sup>, 也是我国农业进一步发展的出路。科学家预测, 旱地农业是今后农业发展的前缘阵地。

西北地区不但是我国小麦、棉花的集中产区, 也是重要的工业基地和外贸集散地, 同时又是全国贫困人口较集中的地区之一。发展这一地区的旱地农业, 对于提高人民生活水平, 满足国家需要, 减少东部人口高密度的压力, 保证我国长治久安, 促进全国农业发展和国家经济建设都有重大作用。随着我国经济建设向中西部地区转移, 这一地区农业的可持续发展越来越显得突出和重要。

## 1 西北地区农业可持续发展的潜力

西北地区光热资源丰富, 耕地充足, 人口稀少, 增产潜力较大, 有着农业持续发展的特有优势。

### 1.1 光热资源丰富

少雨的干旱地区, 全年日照时数 2 500~3 400 h, 即使雨量较多的半干旱及半湿润易旱地区如黄土高原可达 1 900~3 200 h。这一地区日照充足, 太阳辐射能高于同纬度的华北平原, 是中国辐射能高值区之一。地面和贴近地面空气中的大量辐射能, 对农作物和牧草、树木的生长发育有促进作用, 还为广泛利用太阳能创造了有利条件; 丰富而又有差别的光热资源奠定了适于不同作物生长的有利

条件, 决定了不同地区的无霜期长短、可种植作物类型及复种有效(活动)积温( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ )。光、热、温三方面决定了西北地区有暖温带、温带及中温向暖温过渡 3 个地带, 具有作物的多样性和种植制度的复杂性。

### 1.2 土地和耕地资源

全区面积大于 400 多万  $\text{km}^2$ , 占国土面积的 42%<sup>[5]</sup>。现有耕地约  $1.3 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 尚有较多的土地可供开发利用。人口只有全国的 8%, 人均耕地 0.16  $\text{hm}^2$ , 居全国首位。位于这一地区的关中灌区、河西走廊等地, 经过长期人为活动, 创造了肥沃的土壤, 灌水又有一定保证, 是本区甚至是全国著名的高产区, 有着一定增产潜力。干旱、半干旱及半湿润易旱地区, 都有一定水资源可供进一步开发利用; 提高现有水资源利用率上也有较大潜力。例如, 新疆灌区灌水量过大, 一般灌水量  $15 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ <sup>[7]</sup>, 甚至高达  $30 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 浪费严重。其它地区也由于渠道渗漏和灌水制度不合理, 灌水系数和水分利用效率均不高。采用合理的灌溉制度可以扩大灌溉面积, 提高产量。

## 2 阻碍西北地区农业可持续发展的症结

### 2.1 水分亏缺

从自然条件来看, 干旱少雨是影响西北地区农业生产以及农业持续发展的问题所在。处于欧亚大陆腹地的西北干旱地区, 远离海洋, 四周高山阻挡,

\* 收稿日期: 2003-04-01  
基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330), 重点项目(30230230), 面上项目(30070429); 国家重点基础研究发展规划项目(2000011700)  
作者简介: 李生秀(1936—), 男, 陕西永寿人, 教授, 主要从事植物营养与施肥研究。

海洋水汽难以到达,形成了我国最干旱比同纬度其它地区降水量少的地方,其中荒漠地带年降水量一般 200 mm 以下,甚至几毫米。不灌溉就不能农耕,植树种草也需多次灌水。由干旱向半干旱及半湿润易旱地区过渡,降水逐渐增多,从 250 mm 逐渐增至 600 mm,虽然可以发展旱地农业,但由于降水仍不充分,时空分布又不均匀,降水与作物生长季节不完全同步,农业生产具有较大的风险性和不稳定性。降水是地表水和地下水的主要补充来源,降水稀少导致地下和地上水资源只有全国的 7.2%<sup>[8,9]</sup>。水资源短缺限制了灌溉农田的发展,从而限制着农业生产的发展。据估计,本世纪至少需要增加 200 亿 m<sup>3</sup> 水才能满足经济、社会发展的需要<sup>[5]</sup>。

降水变率大是这一地区气候的另一个特点。干旱地区往往连续几月乃至半年以上滴雨不降,而有时 1~2 d 之内又会骤降全年 1/2 乃至 2/3 以上降水。按有效降水计算,连续干旱期常达半年以上,个别地区和个别时期甚至可达 1~3 a。半干旱和半湿润地区降水同样分布不均,年际间甚至有成倍之差,使农业成为一种带有很大风险性的产业;年内主要集中在 7、8、9 月,只能满足或部分满足雨季作物的需要,而其它季节生长的作物经常处在干旱胁迫之中。

## 2.2 侵蚀严重

侵蚀是可怕的自然灾害<sup>[10]</sup>,也是世界旱农地区面临的共同问题<sup>[11~13]</sup>。西北旱地除水分不足外,土壤风蚀和水蚀也很严重。风蚀主要发生在干旱地区,水蚀主要发生在半干旱及半湿润易旱地区。

风蚀是干旱地区的重要自然特点,也是一种重大自然灾害。我国干旱地区靠近全世界最强大的西伯利亚—蒙古高压中心,面对着气候干旱、地面坦荡、植被稀疏而沙源丰富的自然环境,风沙、沙尘暴和特大沙尘暴成为一种突出的多发性天气特征<sup>[14]</sup>。西北荒漠及其东缘的半干旱区实际上已成为亚洲沙尘暴中心,沙尘暴频率多在 15 次/a 以上。风沙和沙尘暴天气是土壤风蚀的标志,也是土地荒漠化的发展过程<sup>[15]</sup>。土地荒漠化和生态环境的破坏是出现扬沙或沙尘暴的根本原因,天气只不过是一个诱因。沙尘暴之所以可怕就在于强风携带着大量的砂粒和农田土壤颗粒,好象洪水携带着泥沙,具有极大的机械破伤力,直接危害作物,毁坏农田,刮走肥料、种子或幼苗,迫使农民多次重播。随着风蚀造成的表土迁移,肥沃土层损失,不肥沃的底土裸露,大量土壤有机物质和营养元素一去不返,土壤肥力因之降低,甚至成为不毛之地。伴随着风蚀,社会经济和人民生活

财产都会出现重大损失。

水土流失严重是世界旱地的共同特色,也是西北半干旱及半湿润易旱地区的主要问题。本地区降雨虽少,但降雨强度大,多暴雨。植被覆盖度小的地表,面对着强度大的短期降雨,土壤难以保蓄降水,引起严重水蚀,甚至严重水灾。水土流失在黄土高原尤为突出。黄土土层深厚,透水性能好,持水容量大,能在 2 m 土层蓄积 400~600 mm 降水<sup>[16,17]</sup>,但由于降水强度往往超过土壤的入渗速率,形成地面径流,导致严重的水土流失。穿过黄土高原之上的黄河及其许多重要支流,携带泥沙量极多。华北平原河流的年输沙量仅 1.5 亿 t,辽河在铁岭站的年输沙量仅 0.21 亿 t,而黄河流经三门峡(陕县)的年输沙量约 16 亿 t<sup>[14,18]</sup>。据测定,每吨表土含氮 0.8~1.5 kg,含磷 1.5 kg,钾 2.0 kg。每平方公里年均冲走表土 300~400 t,会使大量养分一去不返。严重的水蚀既造成了大量降水流失,加重了水分不足的胁迫,又冲走了肥沃表土,带走了土壤有机质,使土壤结构恶化。黄土地区地形支离破碎,生态环境脆弱,农业生产的基本条件恶化;黄河中大量泥沙的输入,危害本区,波及下游,造成黄河河道萎缩、河床不断抬高,使黄河下游历史上经常出现决口和频繁的水旱灾害。现在的“地上悬河”仍严重地威胁着下游 25 万 hm<sup>2</sup>,1 亿多人口的生命财产安全,成为中华民族的心腹大患。

黄土高原水土流失之所以严重,从自然条件来看一是植被少,覆盖度差,黄土地区残存的天然林面积占不到总面积的 3.0%;二是黄土疏松,易于侵蚀;三是新构造运动不断上升以及流经其间几条大河不断下切,形成了黄土高原丘陵区沟壑纵横、峡深崖陡的特殊地貌形态;四是黄土丘陵区大部分耕地坡度在 15°~30°之间,容易形成径流<sup>[19]</sup>。

自然条件虽然有严重水蚀的可能,但把这种可能变为现实的是人为活动。经济困难的农民无力培肥土壤,只好广种薄收,滥垦以扩大耕地面积,造成了“越垦越穷,越穷越垦”的严重恶性循环;滥伐、滥樵、滥牧,毁林、毁草的结果进一步减少了土壤的植被覆盖,加重了水土流失和整个生态系统破坏。新中国成立以来,黄土高原开展了大量的水土保持工作,取得了一定成绩。但治理速度慢,破坏却很严重。目前局部生态环境虽有改善,但整体并未好转,甚至还有恶化现象<sup>[19]</sup>。

## 2.3 土地退化

侵蚀严重导致的生态环境脆弱突出的表现是土地严重退化、土壤肥力普遍不高。水分胁迫固然是

旱地农业生产的严重问题,但尚未成为大部分旱地农业生产的首要制约因子。不少调查揭示,产量并不与降水量同步增减;在水分生产效率低的情况下,降水量并非左右产量的主要因子。山西旱地生产经验表明:在土壤有机质大于 1% 的肥地上,每毫米降雨生产小麦 10.2 kg/hm<sup>2</sup>;而在小于 1% 的薄地上,产量仅为 3.9 kg/hm<sup>2</sup>[20]。陕西省的经验表明,水分生产效益随产量而变更:产量愈高,水分生产效益愈高[17]。事实上,不论在发生径流的坡耕地,还是在不发生径流的平地、梯田,都可以发现相同条件下的不同田块,作物产量有着很大差异。这充分说明肥力在很大程度上左右着产量和水分的生产效益,也证明影响旱地农业生产的旱薄两个因子中,当前主要在薄。由于众多原因,我国的旱地同时也是薄地[21]。

水分胁迫导致了养分胁迫。有限的供水难以实现植物茂盛生长,使土壤累积的有机物质和营养物质数量很少;严重的水蚀和风蚀,又造成了表层土壤损失,加剧了营养物质的贫乏。这是西北旱地营养物质缺乏的一个主要原因。

天然肥力耗竭导致了有效养分,特别是氮素贫瘠。西北旱地农业有悠久历史,现有文献证明,距今五、六千年前的新石器时代,人们就砍伐森林,垦

荒种地,在黄土高原过着定居的农业生活;从周朝算起也有三千多年历史。美国在 19 世纪、澳大利亚和前苏联在 20 世纪,才逐渐把一些干旱草原垦作农田,利用时间较短,有的国家还采取了一定培肥措施(如澳大利亚用豆科轮作),土壤仍有较高天然肥力。草原垦作农田后,有机质分解、氮素释放大加快。洛桑试验站把 100 多年的牧场开垦后,1 hm<sup>2</sup> 土地 12 a 内释放出 2 000 kg 氮素,相当于 20%~30% 的全氮被分解。大草原、干旱草原开垦后经过 30~40 a 氮的释放才趋向稳定[22]。不论按开垦后,还是按稳定的分解速度计算,经过这样长期耕作的旱地,已把原来的天然肥力耗尽,而只能靠每年遗留的残茬、投入的肥料或轮作而维持生产。

培肥土壤不力是西北旱地土壤瘠薄的另一个重要原因。历史上,旱地一般地多人少,耕作方式为广种薄收,甚至轮歇、撩荒,土壤一直未能得到培肥。当前,旱区农民尚比较贫困,在土地上投入的营养物质少[23]。

干旱少雨和侵蚀严重使本地区具有生态环境的脆弱性,人口增长的压力和人为活动的不良影响更进一步加剧了生态环境的脆弱化过程(图 1)。要使西北地区农业可持续发展,必须溯本求源,从改善生态环境条件着手。

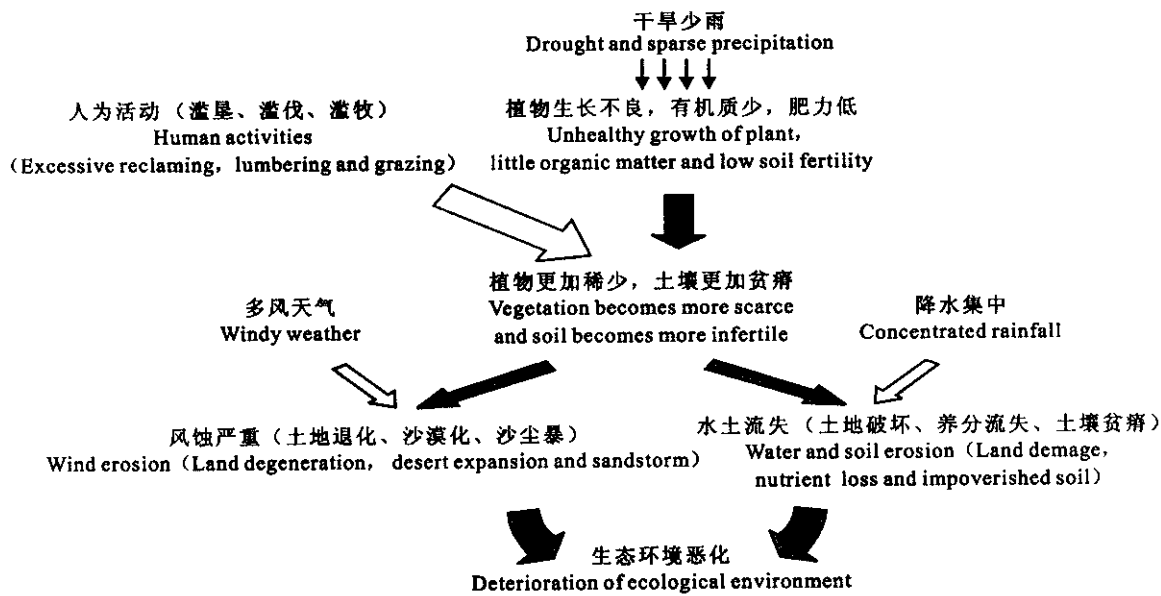


图 1 西北地区生态环境的恶化过程示意图

Fig. 1 Sketch map of deterioration of ecological environment in the northwest China

### 3 西北地区农业可持续发展的途径和技术体系

#### 3.1 充分利用降水资源

影响西北地区农业可持续发展的主要原因是水

资源不足,而降水少是水资源不足的根本原因。这一情况虽然无法改变,但充分利用降水,减少水分的无效损耗却有着巨大潜力,是西北旱地持续发展农业的关键所在。

##### 3.1.1 集存降雨径流 西北旱地由于年降水量低

而变率大,发展旱地农业有着较大的不稳定性。只有集存降雨径流才能保证农业的稳产与高产。在降水量 250 mm 以下的干旱地区,种植业难以发展,没有灌溉则没有农业。这些地区尽管降水不多,径流很少,但如将有限的降水径流收集起来,也可以促进农业在一定程度上发展。例如一次降水 10 mm, 1 hm<sup>2</sup> 地面就可获得 100 m<sup>3</sup> 水;一次降水 50 mm, 则可得到 500 m<sup>3</sup> 水,用于一定面积的土地,则可保证一定的农业生产。采用径流集水的方法,世界上许多国家,如以色列、印度、巴基斯坦、墨西哥、阿富汗、澳大利亚等,使农业在年降水量不足 200 mm 的地区发展了起来,并取得了较好收成<sup>[24~26]</sup>。干旱胁迫使人们更加重视研究和应用这一古老方法,现在世界上许多国家和地区运用现代科学技术集水,成效显著<sup>[27]</sup>。在降水量不足或接近 400 mm 的半干旱地区,旱地农业的水分保证率很低。通过降雨径流的集存,可使该地区降水的生产效果达到或超过 400 mm 地区,保证稳产高产<sup>[28,29]</sup>。半湿润地区,年降雨量虽然超过 400 mm,但这些地区在季风气候条件下,存在着季节性干旱,需要集存降雨径流,补充干旱季节水分的不足。因此,降雨径流集水不但对干旱地区,而且对半干旱和半湿润地区的农业发展都有重要意义。世界上许多国家如印度、叙利亚、埃及、非洲及美国西部均重视径流集水农业,视其为发展旱地农业,特别是干旱地区农业最重要的,甚至是唯一的途径。

径流集水按集水面可分为小范围内的就地集水和大范围的区域集水;按方式来说,可分为土壤集水和库、窖集水。前者是把收集的雨水汇集在某一田块的土壤之中,供给当季或下季作物之用;后者是把降水收集到水库或水窖之中,在作物生长关键时期,补充灌溉。前一方法一般用于田间或田内集水,如我国采用的隔坡梯田,区田,带田,垵地等。世界各国对此也特别重视,不少国家对集水面(径流面)采取了特殊处理增大径流量。印度沙漠地区把径流区的地面用塑料薄膜覆盖或沥青涂封,使降雨滴水不渗,以便向种植区汇集,供给作物利用<sup>[24]</sup>。美国把耕地分成条带,一些条带撒施食盐,使土壤胶体分散,然后碾实,以便产生径流,供种植带收集。集水和覆盖耕作结合起来,效果更好<sup>[30]</sup>。

旱农地区蒸发量大,靠土壤“水库”集水,如果不采取特殊措施,往往难以收到预期效果。因此,库、塘、窖、窖集水在各国干旱及半干旱地区得到了普遍应用。这种集水方式,水分损失少,能在作物需水的关键时期进行灌溉,解决作物需水和降水时间

的错位矛盾,充分发挥降水增产作用。土壤或库、窖集水不但对农作物生产有重要意义,对植树、种草也有特别作用。降水量低于 400 mm 的干草原及干旱地区,树木无法生长,如不采取集水措施,营造防护林很难收效。利用库、窖集水在甘肃取得的进展更引人注目。

3.1.2 增加土壤蓄水 利用降水的途径是该蓄者蓄,该流者流。蓄指土壤蓄水,流指产生径流。不蓄,则土壤无水可贮;不流,则河川无水可补,终于干涸。因此既要蓄,也要流。

在一些适于农业生产的半干旱及半湿润易旱地区,通过土壤蓄水,使降水就地入渗是关键。降水,尤其是暴雨形成的地表径流是水蚀的起点,也是水土流失的源头。涓涓之流,终成大患,地表径流不是由于降水量超过了土壤的持水容量<sup>[17]</sup>,而是降水速率超过了土壤的入渗速率。要使水分就地入渗,一是提高入渗速率,使入渗速率大于或等于降水速率,则降水进入土壤,径流无法形成,水土流失则可以控制。另一个办法使形成的地表积水积而“不流”,经过一段时间后渗入土壤。提高入渗速率要从改良土壤结构、增强土壤结构的稳定性着手,核心措施是加入有机物料(如施用有机肥,秸秆还田)和应用化学改良剂和结构剂(如石膏);防止径流要从改变地面结构,如坡地修梯田,利用耕作、栽培措施形成积水区或阻水区。采用不同耕作、栽培措施,特别是不同作物的带状栽培和带状留茬耕作,阻止径流的形成,不但是增加蓄水的出路所在,也是阻止水土流失的出路所在<sup>[31~37]</sup>。

这里要特别提出的是对土壤蓄水的认识。西北各地集水灌溉的经验证明,在作物生长关键时期每公顷补充灌溉 150~300 m<sup>3</sup>,甚至 90~105 m<sup>3</sup>,可以得到显著的增产效果。集水补灌的突出效果使一些人对补灌强调过头,而忽略了土壤蓄水的作用。补充灌溉效果之所以突出就在于土壤的贮水是其发挥作用的保证和先决条件。降水 400 mm 的半干旱地区,如果降水全部蓄积在土壤内,每公顷约有 4 000 m<sup>3</sup> 的水渗入土壤。正是由于有这样的贮水,补充灌溉才能发挥“补充”的突出效果。没有土壤贮蓄的降水,这样少的灌水量是没有任何“补充”作用的。

3.1.3 提高蓄水效率 入渗在土壤内的水分依然存在着非生产性损失,主要是蒸发。西北旱地夏季休闲效率仅是降水的 15% 左右,证明了这一损失途径的严重性。蒸发量大于降水量是旱农地区的特征,而有效地降低蒸发量,才能使更多的水分用于生产性消耗,提高降水生产效益。

不管从增加土壤的入渗或防止土壤蒸发考虑,覆盖耕作是重要途径。覆盖耕作几乎和农业同时兴起,与农业有着同样长的历史<sup>[38]</sup>。古罗马的铺石盖田,我国的砂砾覆盖河床滩地人所共知。覆盖可以减少雨滴打击地面、破坏结构,防止土粒分散后密封表层透水空隙,增加土壤水分入渗;覆盖也可防止土—气界面的水分交换,减少土壤水分向空气逸散,明显地降低土壤水分的蒸发,有效地提高作物产量。由于这些原因,因地制宜地覆盖不同物质,保蓄土壤水分是发展旱地农业的一条重要出路。用作覆盖的物质有砂砾<sup>[39]</sup>、秸秆、作物残茬、塑料薄膜等<sup>[40~44]</sup>,其中最有应用价值的是秸秆和塑料薄膜。美国采用免耕和秸秆覆盖,使休闲效率由过去的15%~20%提高到40%~45%<sup>[45]</sup>。我国的研究工作也表明了这一措施明显的蓄水保水作用<sup>[46~48]</sup>。

被誉为白色工程的塑料薄膜覆盖更有显著效果,过去仅用于一些经济作物,如棉花、烤烟和蔬菜,近来已扩大了应用范围,从农作物中的大株作物(如玉米)发展到小株作物(如小麦、谷子)。塑料薄膜覆盖有着保水、增温、改善作物生育状况等多种功能<sup>[49,50]</sup>,而保水的效果更令人注目<sup>[51~55]</sup>。甘肃采用薄膜覆盖后,小麦增产近1 500 kg/hm<sup>2</sup>。

3.1.4 提高水分利用效率 水分利用效率通常指单位面积上通过蒸发和蒸腾消耗单位水量(1 mm)所得到的产量[kg/(hm<sup>2</sup>·mm)]。提高水分利用效率是旱地水分管理自始至终应当贯彻的原则,也一直是各国旱农研究的热点。消耗的水量既包括作物蒸腾,也包括土壤蒸发。蒸发、蒸腾比例不同影响着作物对水分的吸收程度;蒸腾量相同而产量不同,即蒸腾效率不同,影响着水分利用效率。要提高作物的水分利用效率就要强化作物对土壤水分的吸收、减少蒸发和提高蒸腾效率。减少蒸发最好办法是让作物充分吸收;作物吸收越多,蒸发损失的可能性越少。增强作物蒸腾效率的途径是:选择能够充分利用土壤水分,并能高效转化水分为经济产品的作物和品种,采用适合的栽培管理制度、保证作物健壮生长。作物吸收、利用水分的能力虽然受遗传特性所控制,外界条件对其有极大影响。良好的耕作栽培制度可为作物的生长发育创造有利的条件,充分发挥其固有特性。因此,对于同一作物或同一品种则要通过耕作栽培等措施,创造适于作物生长发育的良好外界环境,改变内部同化过程,提高光合效能,从而提高水分利用效率<sup>[56]</sup>。

3.1.5 提高灌水利用效率 提高灌水利用效率包括减少输水和灌水过程中的水分损失和提高进入农

田中的灌水利用效率两个方面。

我国灌水利用系数不高,只有0.3~0.5。原因主要是渠道渗漏和进入农田后的灌溉技术不善,输水和灌水过程中大量损失。要提高灌溉水利用系数,首先要健全灌溉系统工程,改善灌区输水、配水道防渗材料及控制设备;加强作物管理,改进地面灌溉。其次要推广增产、增质、增值的节水灌溉方法和灌溉技术,特别是滴灌技术及非充分灌溉的配套(覆盖、培肥作物等)技术。滴灌可以使土壤含水量保持在作物易于吸收利用的状态,节水节能,增产增值,比地面灌溉省水30%~50%,比喷灌省水25%~30%。

提高农田中灌水利用效率是有效利用水分的主要途径。我国灌水制度不合理,灌水利用效率不高。要提高灌水利用效率,就要确定合适的灌溉用量和时期。根据北方水资源不足特点采用补充节水灌溉,即根据作物的生理特点,在关键时期灌少量水,获取最大的经济效益。要达此目的就要把灌溉与作物的需水规律,作物对水分亏缺的忍受程度,作物受旱后得到水分的恢复和补偿程度联系起来。补充灌溉虽不如充分灌溉高产,但水分利用效率高,应用合理,往往可以以少胜多,起到非常显著的增产作用。这方面特别重要的是水分和养分配合。我们的试验表明,在玉米生长关键时期补充灌溉15 mm或30 mm,配合适当养分,可增产1 000~1 500 kg/hm<sup>2</sup><sup>[57]</sup>。

### 3.2 合理投入营养物质

土地退化,土壤肥力不高直接左右着西北旱区农业生产水平,也主导着农业的持续发展。肥力不高的土壤生产力低,保水能力不强,水分利用效率也不高,降水无法充分发挥作用。营养物质投入的目的之一是直接供给作物养分;一是改良土壤,提高土壤肥力和土地生产力,防止土地退化。提高土壤肥力的核心是增加土壤有机质。从长远考虑,在投入营养物质时,一要加强营养物质的循环和再利用,特别是加强有机物料中的养分循环和利用。农作物生产过程是营养物质的利用过程。然而,作物吸收的营养物质只能被人类或动物利用一小部分,大部分则存在于排泄物或废弃物之中。加强这一部分营养物质的再利用,避免损失,加上适量的营养物质投入,则营养物质的匮乏将不会成为问题<sup>[58]</sup>。有机物料返还土壤,还能增加土壤的有机质含量,改善土壤结构,提高土壤的保水、保肥能力。我国是磷、钾资源贫乏的国家,生产磷、钾肥料除消耗能量外,资源是主要限制因子。有机物质或有机肥料除氮素外,磷钾均比较丰

富。随着氮、磷肥料投入量的增加,不少地方出现了土壤钾素耗竭严重的现象。只要把有机物料均匀地返还土壤,缺钾将不会成为严重问题。贮存不善和应用不当已造成了这些营养物质的巨大损失;市场经济规律的影响又使农民把大量富能量、富养分的有机物料付之一炬,更加重了农田投入量少且分布不均的现象。这个问题不解决,我们将越来越多地依靠化肥,依靠进口磷、钾肥料。研究有机物料的养分循环和效果,采用能鼓励农民返还有机物料的政策,发展以高效、节能、省资、易行为基础的保管、施用有机物料技术是解决这一问题的出路所在。这一工作搞好了,养分的良性循环将会形成,营养元素的利用效率将会提高,营养元素的污染将会逐步得到控制。二要加强投入到土壤中的营养物质的循环和再利用。投入到土壤中的营养物质并未得到充分利用,有的损失,有的则在土壤中滞留和惰化。我国自大规模施用磷肥到 1992 年,土壤中累积的五氧化二磷已达 6 000 万 t,按现有耕地面积计,相当于每公顷耕地累积含磷量的 10% 的过磷酸钙 6 439 kg。充分发挥这部分磷素的作用、加强其循环,则农业中的磷素缺乏不应成为问题。这部分磷素与原来存在于土壤中的难溶性磷不同,有着较大的可利用潜力。三是加强土壤中磷钾矿质营养元素的循环和再利用是解决我国这两种资源缺乏的出路。西北地区土壤中的磷钾含量比较丰富,但可利用的形态有限。解决这一问题的途径之一是利用一些吸收和富集能力强的作物,对其充分吸收和利用,再向土壤返还这些有机物料,不断提高其在土壤中的生物有效性。

要达到营养物质良性循环的目标必须走“无中生有”的道路,这就是通过施用无机肥料提高作物产量,从而增加有机物质的投入量。通过化学肥料投入营养物质的实践有力地促进了农业生产发展,开创了农业历史新纪元。据 Siemes<sup>[59]</sup> 资料,1800 年,无化肥 NPK 投入,1 公顷土地只生产 0.73 t 粮食,1.25 hm<sup>2</sup> 土地生产的粮食才能供一人之需;而 1978 年,每公顷投入的化肥 NPK 为 155.8 kg,生产 4.63 t 谷物,可供 4.5 人之需。按 178 a 的平均增产量计算,每投入 1 kg NPK,约增产 20 kg 粮食。上世纪由于营养物质投入而引起的农业大幅度增长曾使很多人震惊。上世纪 30 年代,一位美国科学家就欧洲粮食增产的原因征询德国科学家的意见,得到的答案是,如果把增产量看作 100%,化肥的贡献占 50%,品种占 30%,其它管理措施占 20%<sup>[60]</sup>。德国科学家估计并未言过其实。联合国粮农组织估计,发展中国家的粮食增产中 55% 来自化肥的作用。我国

化肥的投入和粮食的关系也基本符合这一规律。化肥的投入不但增加了作物产量,也增加了能量。化肥生产虽然消耗能量,但化肥增产所获得的能量远高于化肥生产所投入的能量。农业生产是一个增加能量的过程,产投比远大于 1;化肥投入后,产出比更高,如小麦产生的能量与化肥投入的能量 3.3,大麦为 3.2,马铃薯为 2.1。上述结果仅根据食用部分计算,禾秆中蕴藏的能量还大于食用部分,如把这一部分能量包括在内,则能量的产投比至少在 5 以上<sup>[61,62]</sup>。另一方面,化肥生产虽然消耗能量,但消耗的能量仅仅是社会消耗能量的极小一部分,即使像英国这样一个施用化肥较多的国家,生产化肥所消耗的能量仅是其社会消耗总能量的 1%。化肥如此,有机肥料或有机物料的投入也有同样作用<sup>[63]</sup>。由此可见,今后的问题不是限制营养物质投入,而是仍然需要增加投入,这是不可抗拒的趋势。否则,农业将难以持续,人口增长对粮食的需求将无法实现。绿色革命家勃劳格 1990 年就告诫说:“就现有的科学水平而言,农业化学产品的明智使用,尤其是化肥的使用,对满足世界 60 亿人口的生活是至关重要的。人们必须清醒地认识到,当今农民如果立即停止使用化肥和农药,世界必将面临悲惨的末日。这并非由于化学产品的毒害所致,而是饥饿所造成”。勃劳格的话很值得深思。

无机肥料的投入不但大幅度地提高了作物产量,也有效地提高了水分利用。第一,促进了作物根系发育,扩大了作物觅取水分和养分的土壤空间。根系生长空间受到限制以后,作物生长量严重减少,产量不及根系正常生长的 1/2;而合理养分投入不但能促进地上部分旺盛生长,也能促进地下部分旺盛生长,随着根系增加,产量直线上升,产量和根系生长量之间有密切线性关系<sup>[64]</sup>。第二,提高了作物蒸腾量,减少了水分蒸发量,使水分得到了更有效的利用。严格的试验证明,施肥以后蒸腾损失的水分增加,而蒸发损失的水分减少。施肥后蒸腾与蒸散比由 0.32 提高到 0.65;消耗 1 kg 水生产的玉米籽粒由 1.63 g 提高到 2.01 g<sup>[65]</sup>。第三,促进了作物摄取和转运土壤水分的能力。施肥以后作物根系具有较强的吸收和转运水分和养分的能力;蒸腾强度增强,伤流量增加,生理活性提高,加速了体内有机产物的合成,有效地促进了作物对水分和养分的摄取和转运<sup>[66~68]</sup>。第四,显著地增加了作物产量,也显著提高了水分利用效果<sup>[57, 69~74]</sup>。第五,有效地防止风蚀和水蚀。作物的旺盛生长不仅可以提供最大的地面覆盖,而且可以提供大量的有机物质以维持土壤的

重要特性,而增加土壤的渗透性肯定是一个重要因素。虽然合理施肥并未被人们视作控制侵蚀的措施,但在控制侵蚀方面的效果往往明显大于一些可见的工程措施<sup>[75,76]</sup>。

3.3 采用覆盖耕作控制侵蚀

在防治农田土壤风蚀中,覆盖耕作有着重大的作用。用以改进透水、控制杂草和准备播种苗床为主要目的耕、犁、耙、耢的传统耕作有很大破坏性:翻耕会把表层土壤混合,引起土壤表层残茬和土壤有机物质的迅速分解;土壤有机质随耕作次数增加而减少(在高温旱区更为严重),土壤结构随着有机质减少而破坏,结果越耕越坏,越耕土壤越坚实,需要更多的耕作次数来增加透水性。在不平的土地上这一措施的更大恶果是引起严重水土流失。因此,1943 年美国农学家 Faulkner 首先在生产中免除犁耕,只用园盘耙整地播种,把残茬留在地面覆盖。这一制度有效地减少了水土流失。以后 Faulkner 撰写了《犁耕者的愚蠢》一书,总结了传统耕作存在的问题,提出了少耕、免耕法,引起各国农学家的重视。少耕免耕能改进作物残落物的管理,对维持土壤和根区质量特别重要。少、免耕和残茬或禾秆覆盖结合起来,更能保蓄水分,防止水蚀;在防护林带内实行少、免耕和残茬覆盖,还能有效地防止风蚀。控制风蚀的基本原理是增大地表粗糙度,提高土壤结持力,而在防护林带内采用垂直于盛风向的作物带状高茬收割免耕可以层层设障,节节拦阻,分段控制,就地固土,达到全面防治风蚀的目的。

西北地区每年大风均发生在春季。此时农田土壤裸露,固持力小;农田防护林叶片未展,阻风效果差。据此,应首先完善防护林网体系,乔、半乔和灌木相结合,组成高、中、低的立体防风阻沙墙。防护林网体系要加强灌木建设,春季乔木叶片尚未展开,防风效果不佳,密度大的灌木可有效减低风速。在此基础上实行作物带状高茬收割免耕。办法是:高茬免耕带和耕翻带间隔配置,周期更换。免耕带方向与当地主风向垂直,防止土壤风蚀中的雪崩现象。免耕带能使土壤表皮结持,就地固土抗风蚀;带内的作物高茬带是一种柔性透风结构,阻风挡沙,减轻风蚀危害。1934 年 5 月 11 日美国的中西部地区发生了特大沙尘暴,使开垦区一度呈现一片荒漠景象。沙尘暴使人们顿悟到土地连年耕翻的弊端,从而产生了在风沙沿线实行农田土壤免耕耕作制度。现在,美国西部干旱区,免耕地占耕地面积 70% 以上。主要免耕作物是玉米、大豆和高粱,免耕地采用秸秆还田和化学除莠。免耕能否成功,关键在覆盖,而高茬覆盖是有

效的覆盖方式,可以形成沙尘沉积区,使沙尘无法迁移和流动。只有覆盖才能接纳降水和灌水,防止水分蒸发,形成连续浸润状态,协调土壤水、肥、气、热供应,保持较高的生产力。1749 年(清乾隆 14 年)的甘肃《民勤县志》就有“遮蔽耕之”的记载,就是播种后采用柴草挡风保护幼苗,保护土壤、减少风蚀的“雪崩现象”。

3.4 退耕还草还林,发展高效产业

退耕还草还林是重建优良生态环境的根本出路。这虽已为人们所认识,但具体实施却有许多困难,年年种草不见草,种树不见树,失败的原因甚多,主要的是未能因地制宜。西北地区有干旱和半干旱、半湿润地区之别,种树种草应据此而定其方针。降水量低于或在 250 mm 左右是干草原地区,降水远不能满足乔木生长需求,发展乔木林很难成功。这些地区应以种草为主;种树也应采用灌木。种植乔木应有灌溉条件或采用集水补灌措施。防护林地带要采用宽行种植,乔灌相间,以便有充分空间集水,保证成活和生长。半干旱地区降水量仍然不足,种植乔木仍有较大风险。这一问题在水土流失的地区更为严重。陕北地区乔木栽植前几年尚能生长,以后则逐渐衰老,形成小老树。主要原因在于生长期消耗了土壤水分,出现了几米的干土层而无法补充<sup>[77~80]</sup>。因此这些地区的种树应重点在灌木。半湿润地区是森林向草原过渡地带,比较适宜造林,种树的成功率较高。但造成土壤水分亏缺的现象也经常发生。陕西渭北地区的林粮间作因对土壤水分消耗过多、影响农业生产而未能广泛应用。这些地区一要采用退耕还林措施,使适林的坡地、沟壑地带形成大片林地;二要采用农林耕作制度,农地配以适当林木,既起保障作用,又不影响农业生产。

生态环境建设应当寓于经济建设之中,改善人民生活,使人民脱贫致富。这是基础,也是前提。没有后者则难以保证前者顺利实施。而要达到后一目标,就要发展高效产业,通过高效产业引导农民脱贫致富。

粮食是人民维生的基础,不可忽略,但对粮食生产不能要求过高。除一些自然条件优越的地区之外,应以自给性生产为主。粮食生产要以基本农田建设为基础,种少种好,保证高产稳产。高产农田应当以集水为基础,规划好集水面,或采用窑窖工程集水补灌,或采用土壤集水,使种植区的降水就地入渗,集水区的降水流入种植区内。采用集水是保证高产稳产的前提。没有高产的农田,则广种薄收难以改变,退耕还林还草难以实施。

发展优势产业是西北地区人民脱贫致富的必由之路。西北地区的天然条件决定了它有不少的优势产业,如优势果业,优势畜牧业,优质棉产业。西北地区已有一些优势果业,如新疆的葡萄,新疆及甘肃的哈密瓜类,陕西、山西的苹果、梨,陕西的猕猴桃等等。目前的问题是品种不佳,质量不高,风味下降,在市场上竞争力不强。今后应当更新品种,采用有效的管理措施,在提高产量的同时,不断提高产品质量。西北的畜牧业也有特殊优势,渊源流长。新疆的细毛羊,其它地区的肉用羊驰名国内外,在市场上具有较高声誉。目前主要问题是滥放滥牧,畜量超载,引起草场严重退化。根据目前情况,要促进畜牧业可持续发展,一要不断改良品种;二要合理规化,按照载畜能力实行合理轮牧;三是发展青干饲料;四要进行畜产品深加工。新疆是长绒棉的生产基地,以质优而闻名于,对此要加以扶持和发展,使其成为我国的重大产业,并争取在国际市场上占有一席之地。除此以外,还应因地制宜积极开发一些地区特有的产业,其中,发展沙产业应予以重视。沙漠地区虽不利于农业生产,但其昼夜温差大,在生产水果、蔬菜、食用菌类和花卉方面有独特的优势。根据国外经验,干旱沙漠地区的无花果、大枣果质优而风味佳,值得重视和开发。以色列的高价值农产品主要来自沙产区。沙产区应利用集水和有限的其它水资源,主要发展设施栽培产业,以蔬菜、食用菌类、花卉为主,兼顾有特色的其它沙产业,并注意特殊产业的开发。

参 考 文 献:

[1] Dregne H E. Dryland soil resources [A]. Agency for Interndion Developmet. Mimeograph report [ C ]. Washington; Agency for International Development, 1982.

[2] Kramer P J. Water relations of Plants[M]. INC, New York; Academic Press, 1983. 390—396.

[3] Zhao Songqiao. Human impacts on China’s arid lands: desertification or de-desertification [A]. Whitehead E E, Hutchinson C F, Timmermann B N, et al. Arid Lands, Today and Tomorrow [C]. London: Westview Press, Boulder, Colorado, and Belhaven Press, 1985. 1127—1138.

[4] Li Shengxiu and Xiao Ling. Distribution and Management of Drylands in People’s Republic of China[J]. Advances in Soil Science, 1992,18:147—302.

[5] Tso T C. Key requirements for agricultural self-sufficiency in China tawaed year 2030[A]. China Science and technology commussion. International seminar on agriculral development of China [C]. Beijing: China Science and Technology, 1995. 8—10.

[6] 赵松乔. 干旱地区自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1985.

[7] 任光照, 黄永基, 苏人琼. 水资源[A]. 孙颌, 沈煜清, 石玉林,

等. 中国农业自然资源与区域发展[C]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1994. 145—146.

[8] 中国科学院可持续发展研究组. 2000 中国可持续发展战略报告[R]. 北京: 科学出版社, 2000.

[9] 中国资源信息编撰委员会. 中国资源信息[M]. 北京: 中国环境出版社, 2000.

[10] Hartge K H. Demands on soils increasing in diversity and intensity [A]. The 13<sup>th</sup> Internation conference of science society. Transsactions of the XIII congress of international society of soil science [C]. Hamburg; Federal Republic of Germany, 1986. 1—12.

[11] Oram P. What are the world resource and constraints for dryland agriculture[A]. Editing group of the International Congress fro dryland forming. Proceedings of the international congress for dryland farming [C]. Adelaide, South Australia: Department of Agriculture. 1980. 17—78.

[12] Stewart B A. Dryland farming: The north America experience[A]. Paul Wunger, Tom V Sneed, Wayne R, et al. Challenges in dryland agriculture—A global perspective (Proceedings of the International Conference on dryland Farming) [C]. Amarillo/ Bushland, Texas, USA; 1988. 54—59.

[13] Stewart B A, Musick J T. Conjunctive use of rainfall and irrigation in semiarid regions [M]. Inc, New York; Irrigation, Academic Press, 1982. 1—23.

[14] 中国科学院《中国自然地理》编写委员会. 中国自然地理[M], 北京: 科学出版社, 1985. 363—366.

[15] 王敬国. 西部地区的资源环境特征与生态恢复 [A]. 王敬国. 资源与环境概论 [C]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 312—320.

[16] 李玉山. 土壤深层贮水对作物稳产、增产的作用[J]. 中国农业科学, 1965, (3): 40—43.

[17] 李玉山. 渭北旱原土壤水分动态规律及与小麦生长的关系 [J]. 陕西农业科学, 1982, 2: 5—8.

[18] Tang Keli, Zhang Zhongzi, Kong Xiaoling. A study of soil loss and soil degradation on the Loess Plateau in China[A]. Soil Science Society of China. Current progress in soil research in People’s Republic of China [C]. Nanjing; Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1986. 622—632.

[19] 朱显谟. 黄土高原的土地的整治问题[J]. 水土保持通报, 1984, (4): 1—6.

[20] 山西省农业厅. 山西旱农的一般条件和今后发展的建议[A]. 山仓, 钮溥. 中国干旱半干旱农业科技资料选集[C]. 西安: 西安情报中心出版, 1983. 137—143.

[21] 高亚军, 李生秀. 北方旱区农田水肥效应分析[J]. 中国工程科学, 2002, 4(7): 74—79.

[22] 李生秀, 赵伯善. 我国旱地土壤合理施肥之刍议[J]. 土壤通报, 1991, 22(4): 145—148.

[23] 李生秀, 肖俊璋, 程素云, 等. 论我国旱地土壤的水分管理[J]. 干旱地区农业研究, 1989, 7(1): 1—10.

[24] 李生秀, 魏其克, 陈明彦, 等. 印度的旱地农业[J]. 干旱地区农业研究, 1990, (2): 82—95.



[25] 茹明定,李生秀,刘 辉,等. 秘鲁的农业生产和农业科学研究[J]. 干旱地区农业研究,1994,12(4):120—126.

[26] Central Arid Zone Research Institute. Progress in arid zone research (Revised edition)[M]. Jodhpur, India: Central Arid Zone Research Institute, 1988.1952—1987.

[27] 美国国家科学院. 唐登银译. 干旱地区集水保水技术[M]. 北京:农业出版社,1979.

[28] 赵松岭,王 静,李凤民. 黄土高原半干旱地区水土保持型农业的局限性[J]. 西北植物学报,1995,15(8):13—18.

[29] 赵松岭. 集水农业引论[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1996.

[30] 曹玉琴,刘彦明,王梅春,等. 旱作农田沟垄覆盖集水栽培技术的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 1994,(1):74—77.

[31] 陈意平. 蓄水覆盖丰产沟耕作技术及增产机理[J]. 灌溉排水,1991,(1):26—30.

[32] 高绪科,王少彬. 半湿润偏旱地区麦田蓄水保墒耕作[J]. 农业科技通讯,1993,(4):27.

[33] 郭文稻. 试论我国北方旱地抗旱耕作体系问题[J]. 古今农业, 1988,(2):9—13.

[34] 杨继茂. 旱作农业的有效途径——机挖丰产沟[J]. 农业机械, 1992,(8):14—15.

[35] 尹家峰,邓育江. 垄作区田在黑龙江省坡耕地上应用研究[J]. 中国水土保持,1994,(5):23—25.

[36] 张玉发,赫崇今. 浅翻间隔深松法的效益分析[J]. 干旱地区农业研究,1988,(4):18—23.

[37] 中国农业科学院. 当今世界农业[M]. 成都:四川人民出版社,1991.387—397.

[38] Jacks G V, Brind W D, Smith R. Mulching[M]. England: Commonwealth Bureau of Soil Sci, Technical Commun, 1955.49.

[39] 雒焕忻. 白银地区砂田的防旱作用及其耕作[J]. 干旱地区农业研究,1991,1:37—45.

[40] Unger P W. Soil profile gravel layers: I Effect on water storage, distribution, and evaporation[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1971,35:631—634.

[41] Unger P W. Soil profile gravel layers: II Effect on growth and water use by a hybrid sorghum[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1971, 35:980—983.

[42] Wendt C W. Influence of plastics on soil moisture, soil temperature, and yield of sweet corn at Lubbock, Texas, 1969[R]. USA: Texas Agric Exp Stn, 1969.3154.

[43] Wendt C W. Applying degradable plastic to cotton, onions and carrots in the High Plains, 1971[R]. USA: Texas Agric Exp Stn, 1973.3170.

[44] Wendt C W, Runkles J R. Influence of soil mulches on the environment, vegetative development and certain fiber properties of cotton[M]. New Orleans: The 23<sup>nd</sup> Cotton Defoliation and Physiology Conference Proc, 1969.96—99.

[45] Griffin R H, Ott H B J and Stone J F. Effects of water management and surface applied barriers on yields and moisture utilization of grain sorghum in the southern Great Plains[J]. Agron J, 1966,58:449—452.

[46] 王树楼,王 笏,丁玉川,等. 旱地玉米免耕秸秆半覆盖耕作技术试验研究[A]. 陈万金,信乃谄. 中国北方旱地农业综合发展与对策[C]. 北京:中国农业科技出版社,1994.217—221.

[47] 王拴庄,徐淑久. 农用秸秆覆盖节水措施的试验研究与推广[J]. 水利水电技术,1992,(6):48—51.

[48] 韩思明,杨春峰,史俊通,等. 旱地残茬覆盖耕作法的研究[J]. 干旱地区农业研究,1988,(3):1—12.

[49] 段玉田,董文和. 高寒区万亩小麦地膜覆盖增产技术[J]. 农业科技通讯,1988,(8):4.

[50] 山东省胶南县农机站. 岭坡地花生覆膜旱作增产技术[J]. 农业科技通讯,1988,(2):12—13.

[51] 樊廷录,王 勇,王立明,等. 旱地冬小麦周年地膜覆盖栽培的增产机理及关键技术研究[J]. 干旱地区农业研究,1999,17(2):1—7.

[52] 樊廷录,王 勇. 旱地地膜小麦研究成效和加快发展的必要性及建议[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(1):27—32.

[53] 高成芳,田晓峰,张二喜,等. 山旱地冬小麦地膜覆盖沟穴播接纳雨水试验研究初报[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(1):39—43.

[54] 田晓峰,高成芳,张二喜,等. 山旱地冬小麦地膜覆盖沟穴播技术试验研究[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(1):31—35.

[55] 王虎全,韩思明. 渭北旱原冬小麦全程地膜覆盖超高产栽培技术研究[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(1):24—30.

[56] 李生秀,李世清,高亚军,等. 施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果[J]. 干旱地区农业研究,1994,12(1):38—46.

[57] 李世清,李生秀. 水肥配合对玉米产量和肥料效果的影响[J]. 干旱地区农业研究,1994,12(1):47—53.

[58] Committee on the Role of Alternative Farming Methods in Modern Production Agriculture, Board on Agriculture, and National Research Council. Alternative Agriculture[M]. Washington D C: National Academy Press, 1989.135—194.

[59] Siemes J. Maintenance of human nutrition by mineral fertilizer application[J]. Pflugu Spaten, 1979,6:2.

[60] 普良尼施尼柯夫(苏). 王天锋,夏苏芳,译. 在植物生活和苏联农业中的氮素[M]. 北京:科学出版社,1956.1—120.

[61] Lewis D A, Tachell J A. Energy in UK agriculture[J]. J Sci Food Agric, 1979,30:449—457.

[62] Pimentel D, Hurd L E, Bellotti A C, et al. Food production and energy crisis[J]. Science, 1973,182:443—449.

[63] Mengel K, Kirkby E A. Principles of plant nutrition (4<sup>th</sup> Edition) [M]. Bern Switzerland: International Potash Institute,1987.303—346.

[64] 杜建军,田霄鸿,王朝辉,等. 根系吸收水分和养分的作用以及以肥促根的效应[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京:中国农业科技出版社,1995a.106—110.

[65] 李世清,王喜庆,高亚军,等. 施肥对提高作物蒸腾、减少蒸发的影响[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京:中国农业科技出版社,1995.187—190.

[66] 杜建军,王朝辉,田霄鸿,等. 施肥对作物吸取、转运、利用土壤水分的影响[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京:中国农业科技出版社,1995b.182—186.

- [67] 李生秀,高亚军,王喜庆,等. 水分对土壤养分迁移的影响[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京: 中国农业科技出版社,1995a. 6—11.
- [68] 李生秀,巨孝棠,王喜庆,等. 水分对土壤养分矿化的影响[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京: 中国农业科技出版社,1995b. 1—5.
- [69] 杜建军,王朝辉,田霄鸿,等. 氮素营养对水分胁迫下冬小麦光合效率的影响[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京:中国农业科技出版社,1995c. 145—149.
- [70] 高亚军,王喜庆,杜建军,等. 施肥对提高水分利用效率的影响[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京: 中国农业科技出版社,1995a. 191—194.
- [71] 高亚军,王喜庆,李世清,等. 有机肥对氮肥肥效的影响[A]. 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[C]. 北京: 中国农业科技出版社,1995b. 326—330.
- [72] 李生秀,李世清,高亚军,等. 施肥在提高旱地土壤水分利用效率上的作用[A]. 魏益民. 中国西北旱作地区农业可持续发展、国际学术研讨会论文集[C]. 西安,北京,广州,上海: 世界图书出版公司,1997. 235—248.
- [73] 杜建军,李生秀,李世清,等. 旱地麦田的节水灌溉研究[A]. 中国土壤学会. 中国植物营养与肥料学会青年工作委员会: 第六届全国青年土壤暨首届全国青年植物营养科学工作者学术讨论会论文集—迈向 21 世纪的土壤与植物营养科学[C]. 北京: 中国农业出版社,1997. 54—56.
- [74] 杜建军,李生秀,李世清,等. 歉水年底墒和水肥施用时期对冬小麦产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(3):15—19.
- [75] Brady N. The nature and properties of soils (8<sup>th</sup> edition) [M]. Inc, New York; Macmillan Publishing Co, 1974. 243.
- [76] Zheng Fengli, Tang Keli and Zhou Peihua. Approach to the genesis and development of rill erosion on slope land and the way to control it[J]. Acta Conservationis Soli et Aquae Sinica, 1987,1: 36—48.
- [77] 侯庆春,韩蕊莲,韩仕峰. 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J]. 中国水土保持,1999,(5):11—14.
- [78] 王克勤,王斌瑞. 集水造林防止人工林植被土壤干化的初步研究[J]. 林业科学,1998,38 (2): 54—60.
- [79] 杨维西. 试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J]. 林业科学,1996,32 (1): 78—85.
- [80] 王 力,邵明安,侯庆春,等. 延安地区人工刺槐林的土壤干层分析[J]. 西北植物学报,2001,21(4):34—38.

Constraints and strategies for agricultural sustainability  
on the drylands in northwest China

LI Sheng-xiu

(College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University  
of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** On the drylands in northwest China, heat and light resources are abundant, population is relatively sparse, and land per capita is relatively sufficient. Therefore there is great potential for agriculture development. However, sparse precipitation greatly limits crop production, and uneven distribution of precipitation, low rate of vegetation coverage, and serious destruction of vegetation by human activities have caused detrimental wind and water erosion, making soil degradation and environment fragility. In order to develop agriculture sustainably, highly efficient utilization of natural precipitation will be the breakthrough, input of nutrients and fostering soil fertility are the bases, and taking scientific methods for controlling water and wind erosion, reseeding grasses and planting trees, developing highly efficient industries should be considered as priorities. The paper addresses constraints existed and the ways for development of dryland agriculture in northwest China.

**Key words:** drylands in northwest China; precipitation; sandstorm; water erosion; input of nutrients; mulching