

提高人工植被培育中土壤抗旱性的综合措施

王晗生^{1,2}

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100; 2. 中国科学院、水利部水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘 要: 干旱条件下培育人工植被, 采取适当的抗旱措施是必不可少的, 其中作为植物生长发育所需水分、营养的载体, 土壤是显著的可调控对象, 对其合理处置与抗旱有着密切的关系。以土蓄水、抑制蒸发、改良土壤、培肥地力等有利于对有限水分的利用。提高土壤抗旱性的综合措施包括土壤耕作、土壤培肥、土壤覆盖、防止水分深层渗漏等方面。在气候暖化的背景下, 为增强土壤抗旱措施的效果, 提高其技术水平, 分析了与蓄水、保水、集水以及用水有关的土壤抗旱方式及其特点。在综合述评的基础上, 还讨论了土壤抗旱措施的技术应用问题和需要研究的主要方面。

关键词: 作物栽培, 造林种草, 抗旱, 技术

中图分类号: S34;S725

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0041-07

王晗生. 提高人工植被培育中土壤抗旱性的综合措施[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 41-47.

Wang Hansheng. Comprehensive measures for improving drought resistance of soil in cultivation of artificial vegetation[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 41-47.(in Chinese with English abstract)

0 引 言

克服大气干旱的影响, 创建植物成活、正常生长、产量提高的良好生态环境条件, 在北方旱区历来受到人们的重视。近些年来发生的气候演变, 不能不令人更加关注。虽然设施农业的发展实施了植物生活因子的全方位调控, 但水、肥一般仍然是田间调控的主要因子。土壤作为植物生长发育的基地, 其状况与植物的水分、营养供应有着直接的密切关系。为达到一定的人工植被培育目的, 土壤是显著的处置对象。土壤处置在旱作生产中具有重要的抗旱意义, 自《吕氏春秋》、《齐民要术》等古文献有记载以来, 此方面就有着大量的研究和实践积累, 尤其作物抗旱栽培^[1,2]。尽管如此, 为提高人工植被的建植成效, 尽可能避免损失, 如何增强土壤处置的效果以及技术措施的完善仍然值得研究。为此, 需要阐明有关土壤处置的方式及特点。鉴于目前对此缺乏较为系统的论述, 本文围绕蓄水、保水、集水以及用水, 由土壤耕作(整地)、培肥、覆盖以及防止渗漏等4个方面出发进行探讨, 以期通过有关技术的有效实施, 增强抗御干旱的能力, 提高抗旱耕作栽培技术水平, 并达到促进技术进步的目的。

1 土壤耕作

1.1 常规耕作

耕作或整地一般是种植前的必经环节, 是生产中常用的蓄墒、收墒、保墒措施, 传统上包括翻耕(犁耕、铧翻)、耙(耖)、耨(耨、盖、擦)、镇压、中耕或铲耢

(锄、耢、耨、耨)等几个方面。耕翻的疏松作用, 可使土壤非毛管孔隙增多, 有利于耕层土壤水分的增加。尤其深耕、深翻或者隔行深沟翻(包括上翻下松, 适宜深度一般18~22 cm, 可达23~33 cm, 甚至50~67 cm), 打破了紧实的犁地层, 可显著增强土壤的蓄墒性能^[3]。但土壤耕翻需要在降水较充足的情况下进行, 否则不仅达不到蓄墒(纳墒)的目的, 反而会加剧土壤蒸发。北方春季保墒在生产中是一个重要环节。根据土壤水分运动规律^[2]以及作物种植的特点, 春季一般避免耕翻, 此时未秋耕地, 宜及早浅耕(一般深度10~14 cm), 边耕边耙耨, 以减少失墒。通常及早采取夏耕或伏耕(入伏前)、秋耕(白露前后)以及作物行间的深刨(深度23~27 cm至33 cm)或沟垄易位(中耕培土)。雨季过后, 秋免耕虽比秋耕翻有利, 但仍不利于有效保墒。在此情况下, 应当灭茬耙地, 以耙代耕。冬季上层土壤水分都有增加的趋势, 早春“顶凌耙地”或“顶凌耨地”, 可在很大程度上阻止土壤返浆期的强烈蒸发。耕翻后的耙(钉齿耙、圆盘耙等)耨是重要的保墒措施。

冬季休闲地, 秋耕一般耕耙结合, 及时耙耨合口越冬, 但在冬季降雪多的地方, 也可至翌春顶凌耙耨。夏季休闲地, 伏前深耕后一般不耙耨, 直到立秋后或雨季后期才耙耨收墒, 即遇雨只耕不耙。但伏前深耕后提早耙地收墒, 大暑前粗犁晒垡, 大暑后细犁带耙, 立秋后多耙少犁, 播种前只耙不犁, 雨后相应粗犁或细犁带耙^[2]。还有伏耕的夏闲期雨后进行耙耨, 以及伏前深耕, 耙耨合口过伏^[4]。这些有所不同的实践, 目的是为了最大限度地蓄存降水。

伏耕前的浅耕灭茬或“串地灭茬”耙地(圆盘耙或耢子)具有明确的保蓄土壤水分的意义。利用旋耕机耕作(旋耕)兼有浅耕和耙耨的综合效果。镇压或碾压(镇压器、石碾、石砵、碌碡等)可使表层干土湿润, 起到接墒、提墒的作用, 从而有利于播种(耩、耩)出苗。但毛管水仅在土壤松紧适当的情况下移动最快, 土壤过

收稿日期: 2007-07-09 修订日期: 2008-11-16

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2006BAD09B09); 国家林业局黄土高原林木培育实验室基金; 中国科学院水土保持研究所知识创新领域前沿项目
作者简介: 王晗生(1965—), 男, 甘肃武威市人, 博士, 副研究员, 主要从事旱区植被建设及生态学研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。Email: hswang@ms.iswc.ac.cn

紧或过松,都不利于其移动。因此,镇压的轻重要适度,不致镇压后土壤产生结皮。春谷子、冬小麦等在幼苗期,镇压还有利于蹲苗,有利于分蘖和防倒伏;耙地也可促进壮苗(“早春耙麦”)。冬季地面坷垃多时,也常采用镇压的方法。春小麦区早春顶凌镇压是行之有效的保墒措施。中耕包括播种前的裸地或赤地中耕,不仅在雨季有利于蓄墒(前述深刨),还可抑制毛管水的上升而有利于保墒(浅锄深度3~7 cm)。雨后或灌水后及时中耕,具有良好的效果。

1.2 特色耕作

1.2.1 农地

深松耕(无壁犁、深松铲等)通过创造虚部与实部并存的耕层构造,疏松土壤而不翻转土体,保持土层位置不变。但同样可打破犁地层(一般深度25~30 cm,甚至达50 cm),也使土壤的贮水能力加强。实施深松耕,可耕种或耕管结合,实现少耕目的;在地面保留作物残茬,又可防止风蚀或水蚀。在风沙地区,为防风蚀,犁耕应与风向垂直。耕后适度耙地,使地面保留大量适当大小的土块,以避免土块过大,不易保墒;过于细碎,地面平滑而粗糙度低,又易导致风蚀。盐碱地耕作,为防盐保墒,也讲究保留土块(“养坷垃”)。

与平播或平作相区别,坡耕地为达到蓄水保土的目的,需要改变微地形,塑造一定的地面形态,以垄沟、坑穴等拦蓄坡面径流,如等高耕作(横坡耕作)、水平沟种植(套犁沟播)、水平防冲犁沟(夏闲地或作物地)、垄沟种植(圳田)、掏钵种植、坑种(坑田、区田)、垄作区田(沟垄带状区田)耕作、渗水孔耕作、丰产沟耕作(壕种)等^[3-6]。以垄沟种植为基础发展起来的丰产沟耕作,与垄沟种植、水平沟种植、隔行深沟翻(具生土垄)可进行沟、垄互换(“倒壕换垄”)的中耕培土不同,其生土垄要在耕作周期内(一般为3 a)保留。与隔行深沟翻类似,丰产沟、丰产坑等亦是实现深耕的一种形式,因此,也应避免春季进行。提前(如秋后)起垄比较适宜。为防止春季起垄由于不便耙耱、镇压而易于失墒,不利出苗;夏季由于早期暴雨淤积,淹没幼苗,结合中耕,实行平播培垄耕作,就兼顾了垄作与平播的优点。当然,为有利于蓄水,垄沟种植、平播培垄耕作、丰产沟、丰产坑等也适用于平地。开沟作垄种植也可增加地面粗糙度,有利于防风蚀。

1.2.2 林、草地

易积水地方(如洼地)的作物培育,作垄后,作物种植于垄上。同样,水分过多地方造林,整地破土断面要高于原地面(高垄、丘状),垄上或台上植树。但抗旱耕作或整地与此不同,正如作物培育中整修水平梯田(连台梯田)、隔坡梯田或者坡式梯田(捻地、条田),以及采取如前所述的水土保持耕作法,坡地造林也需要构造一定的蓄水容积或断面形式。通常采用局部的整地方法,如鱼鳞坑、深穴、水平阶(条)、水平带状(环山水平带)、水平沟、退耕地或沙地套犁沟、深沟、反坡梯田(三角形水平沟)、窄水平梯田、撩壕(抽槽、倒壕)等^[7-13],其破土断面一般低于原地面,修垄筑埂或横埂,以拦截

径流,达到蓄水的目的。此处,撩壕与农作丰产沟、水平沟与农作水平防冲犁沟、深穴与农作掏钵具有相似性。当然,除退耕地外,造林地都是未经耕作过的原生荒地或长时期撂荒的次生荒地(二荒地),在其上整地,块(穴)间或带间需保留适当的原状坡面,可有助于汇集径流以及防止土壤侵蚀。有研究表明,造林初期1~3 a,水平沟整地的水土保持效果好于穴状整地;但7~8 a后,二者优劣次序却倒置^[8]。可见,整地破土面积过大,地表过于裸露疏松,对坡地保持水土是不利的。即使平地,一般造林也进行局部整地,如带状、块状、犁沟等。多风地区的荒地,尤其固定沙地对此更是有严格的要求,破土带还要与主风向垂直。鱼鳞坑等块状整地(块垦)方法应用比较灵活,尤其适于地形比较破碎的坡地,而坡面比较完整的多应用水平沟等带状整地(带垦)方法。当然,平地或缓坡在一定情况下也可全面整地(全垦)。水平梯田、撩壕等适合于培育经济林等。中耕松土锄草,除经济林等林分外,都应当适度,在不致影响树苗的情况下,尽可能保留地面植被,不仅有利于保护树苗,也符合其保持水土、防止风蚀的经营目标。

干旱地区造林需要灌溉,但新疆准噶尔盆地由于冬季多积雪,春、夏季还有适当的降雨,通过在龟裂地上开沟,依靠自然坡降或人工坡降集流,可在无灌溉条件下营造梭梭林^[14]。相当于农作伏耕或秋耕,如同农田深耕,深厚、疏松的土层可以吸收较多的水分,造林也应当以一定深度、先期雨季提前整地。同样地,春季整地易助长失墒,尤其破土面较大的整地方法更是如此,这对春季造林是不利的。有研究表明,前一年整地比当年春季整地土壤含水率高;虽然水平沟、水平阶比挖穴蓄水性能好,但春季整地,水平沟、水平阶的土壤含水量都比挖穴低。值得注意的是,整地深度的意义往往大于破土面积,在整地长度、宽度等技术指标中占有重要地位。整地深度一般大于20~25 cm,可至30~50 cm,甚至60~80 cm。相同的整地方法,适当加大整地深度,无疑可提高其整地质量,尤其对于具有紧实间层的土壤,如栗钙土,可破除其中的钙积层^[10]。

随着径流农业的发展,在上述造林整地的基础上,更注重采用集流方法或措施^[15-18],以充分汇集有限的降水,使植树穴(区)内拦蓄更多的水分。燕翅形整地^[19]或V字形整地^[16],集流面燕翅或V边为具有外侧埂的沟槽,可以说是一种更为有效的、简单易行的整地方式。除此之外,根据地形、地势,还有单坡式整地、双坡式整地、漏斗式整地、扇形整地等。与V字形整地不同,坡式、漏斗式、扇形集流面均砸实拍光,以利于径流形成。为提高集流效果和增加产流量,还采取一些措施来封堵土壤孔隙,阻止集流面的入渗,如化学材料(沥青、橡胶、石蜡、有机硅、钠盐等)处理、薄膜覆盖等。在年降水量330 mm的半干旱黄土丘陵区,经高分子化合物有机硅处理的8 m²集流面,使2 m²的植树区中增加了相当于830 mm的降水量^[16],集流效果显著。应当看到,这种破土面较大的集流整地方式,一般仍多应用于培育经济林等。经营其它林分,集流面采用自然坡面,或通过

诸如自然植被管理等的简单处理是适宜的。

造林立地水分状况不良, 提前 1~2 个季节, 在多雨天气条件下, 细致整地是十分必要的, 尤其干旱阳坡。但在土壤水分适宜的情况下, 也可以随整随栽, 甚至不整即播种, 如同作物耕种可结合, 当年不秋耕, 次年可硬茬播种, 或者春播前进行耙耱浅耕。在阴坡、沟道、坡下部等土壤水分条件好的立地上, 提前整地的意义并不一定突出。退耕地相当于提前进行了整地, 其土壤水分条件一般较好, 可直接造林或种草。由于风蚀的原因, 风沙区随整随栽是有利的。流动沙地、半固定沙地上造林, 由于其本身疏松, 一般都不整地。即使固定沙地, 由于沙地持水力弱, 提前整地蓄积水分的必要性并不大, 随整随栽也是可行的。如同退耕地, 雨季沙地上亦可直接穴播、条播或撒播。荒坡上雨季还可随整随播, 如种草进行耨、挖穴等松土处理, 直播造林采用套犁沟法以及堆土定砵、开沟起垄、挖穴等处理。沙地上雨季撒播, 除用耙耱地、植物枝条轻扫等处理外, 跟荒坡雨季撒播一样, 还采取依靠牲畜(如羊群)践踏的措施。荒坡、沙地上雨季撒播, 例如飞机播种(飞播), 甚至于不扰动土壤, 也有成功的先例, 但其在旱区并不稳妥可靠。雨季植树同样可随整随栽, 只是造林速度有所影响。

随整随栽需要注意保墒, 窄带状、小块(穴)状整地, 避免过大面积翻动土壤, 一般就以植树挖穴操作代替整地, 甚至不经整地, 直接窄缝植树、打孔或打压插杆。春季抢墒早栽种, 雨季趁雨、趁墒适时栽种, 都是重要的。早期造林不整地, 问题在于随整随栽的随意性, 对土壤水分条件的适宜性以及保墒措施重视不够。以往直播造林、种草成效不高, 也与此有很大的关系。

2 土壤培肥

旱地多薄, 薄地易旱, 干旱与土壤瘠薄有着密切的关系。理化性状良好土壤(土粒较细的土壤、肥沃土壤)的持水、保水能力比不良土壤(沙质土壤、瘠薄土壤)要大得多。土壤瘠薄, 雨量较大时(大雨、暴雨), 由于不能有效存贮水分, 即使平整的土地也还是要产流。在大气干旱的情况下, 土壤瘠薄可加剧水分不足的矛盾性。由此可以说肥沃农田是抗旱的基础。水土保持和耕作是改变生产条件和蓄水保墒的必要措施, 而培肥地力通过扩大“土壤水库”的库容, 增强土壤的蓄水保墒能力, 在一定程度上可为作物增加水分供应, 从而可使抗旱的效益得到充分发挥。可见, 改良和培肥土壤, 提高土壤肥力, 是高效利用降水不可忽视的手段, 改土蓄水具有重要的实践意义。

粮豆(扁豆、蚕豆等)轮作、粮与油菜(或马铃薯、荞麦等)轮作、种植绿肥或牧草(毛苕子、草木樨、箭舌豌豆、紫花苜蓿等)、客土法、引洪淤地、泥炭利用、秸秆还田、施用粪肥或堆沤肥、施用化学肥料等都是培肥地力的有效措施, 但提高土壤有机质含量是培肥的核心。中国农业的发展, 长期推行有机农业^[20,21], 受到世界农学界的高度关注。农田增加有机质, 不仅在于为农作物提供营养物质, 更重要的在于它能改善土壤结构, 以

肥养墒、保水, 促进水肥协调。可是, 纯粹的有机农业产量低, 不能满足人类日益增长的需要。因此, 随着化工工业的发展, 化肥使用带来的显著增产效果, 得到了农民的普遍认同, 已在农业生产中起着举足轻重的作用, 对粮食产量的贡献份额达到 47.5%。肥力提高, 可以促进作物根系发育, 扩大水分的吸收利用范围^[22-25], 充分利用深土层的贮水, 增强作物的抗旱性及水分利用效率^[25,26], 达到“以肥调水”的目的。尤其磷肥, 其作用效果甚为显著。但单纯片面施用化肥而忽视有机肥或生物养地的作用, 有时会导致土壤有机质降低, 物理性质恶化。目前, 有机肥和无机肥相结合, 无机换有机, 有机不足无机补, 氮、磷配合, 雨量较少时注意多施磷肥, 肥水相宜, 合理施肥^[20,23,25,27], 已是得到肯定的培肥土壤、保持肥力的最佳施肥策略。

耕作虽不能改变土壤养分的总量, 但经冷热、干湿、冻融(尤其冬灌引起)等变化, 可促进土壤的风化作用(晒垡、冻垡)或熟化过程, 从而提高土壤养分的有效性。结合深耕, 大量增施有机肥料, 采取耙耱等技术, 就能把降水利用好。秋天深翻, 一次施足农家肥、氮肥和磷肥, 三肥垫底, “一炮轰”的做法就是如此。丰产沟、丰产坑等集中使用肥料就有着良好的效果。除基肥(底肥)外, 也应当根据实际情况提倡追肥, 如结合中耕培土施肥、深松施肥、雨后及时趁雨追施、遇干旱“打肥水针”等。

许多研究表明, 旱地农业地区土壤瘠薄、肥力不足是实现降水生产潜力和提高产量的重要障碍因素, 是当前生产所要解决的主要矛盾^[28-32]。当然, 在水源有保证的情况下, “治薄”等同于“治旱”, 使用肥料效果显著, 否则, 肥料的作用受到限制。干旱区以及半干旱偏旱区水分不足的矛盾突出, “治薄”的同时也需要“治旱”。

林、草植被培育中, 施肥主要应用于经济林、速生丰产林, 以及一些用材林、薪炭林、人工草地和天然草地。此外, 也有为了减少裸露坡地的土壤侵蚀, 促进幼林早日郁闭而对幼树进行施肥的。林、草植被培育很大程度上依赖于自然肥力, 造林整地如同农作修梯田、隔行深沟耕翻、丰产沟耕作(蓄水聚肥改土耕作)、丰产坑耕作等, 生土搬家培垡(埂), 熟土(表土)还原; 或与农作相区别, 熟土还原后, 其上再覆一层生土, 使种植部位或树苗根部集中使用表土。陕西延安地区杨树、刺槐、木瓜等树种, 水平阶上外缘种植比其里部种植生长量大, 原因就在于整地时将熟土挖放在了阶的外缘(梁乾初等, 1986)。保留林内死地被物, 防止破坏林内的养分循环, 无疑是重要的。对油松等人工林地形成的粗糙型死地被物, 有必要利用施石灰等措施, 促进其分解和转化。以沙棘、紫穗槐、刺槐等具根瘤树种作为伴生种进行混交造林, 以及幼林内种植绿肥, 都是培肥林地的有效措施。人工林、草地出现的土壤干化现象, 表明人工林、草地实行轮作、休闲亦是必要的, 有利于土壤水分及地力的恢复^[33]。

农田多施有机肥, 本质上使土壤团粒结构增加, 非毛管孔隙增多, 从而使土壤透水性增强, 蒸发抑制能力

提高。这些效果也可利用土壤结构改良剂（聚丙烯酰胺制剂 PAM、沥青制剂 HA、多糖等）^[34-38]来达到。作为土壤物理肥料，在有机肥来源不足的情况下，使用有其弥补意义。保水剂直接施入土中，除自身蓄水外，亦能通过改良土壤而起作用^[39]。土壤结构改良剂在农林业生产中都有一定的应用。

3 土壤覆盖

传统耕作造成 3~7 cm 厚的疏松表层干土，实际起覆盖作用，但这种特殊覆盖蓄水保墒的作用效果有限。毕竟土壤裸露，受大雨或暴雨的冲击和溅蚀，土壤孔隙易被堵塞，致使雨水入渗受阻；加之冬、春季多风以及夏季高温，仍然会有土壤水分的大量蒸发。而地面增加砂石、秸秆（包括留茬、糠皮、绿肥青体、残草落叶等）、薄膜等可透水或不透水的覆盖物，可年内实施一、二次覆盖而最大限度地减少休闲期及植株棵间的土壤蒸发，更加有利于作物正常播种及生长发育。

3.1 砂石、秸秆覆盖

砂田集中分布于年降水量在 250 mm 以下的甘肃兰州、白银一带。砂层厚度 10~13 cm，一次铺砂使用年限可达 20 年，甚至 40 年。与土田有着鲜明的对比，旱砂田由于多孔隙的砂石覆盖层，降水渗透性强以及防止土壤剧烈蒸发的作用，能够生长作物并获得较好收成。类似砂田免耕，秸秆覆盖也可在一定时期内达到少、免耕的目的，如冬小麦留高茬少耕全程覆盖、春玉米免耕整秸秆半覆盖以及冬小麦——夏玉米两季连续免耕秸秆覆盖和夏作（夏玉米、夏大豆等）一季免耕秸秆覆盖。除此之外，秸秆覆盖还有休闲期覆盖、作物生育期覆盖以及二者结合的生育年度覆盖。秸秆覆盖宜盖严、盖匀而不压苗，在雨季由于保护土壤免受雨滴的击溅，保持土壤的孔隙结构，从而可促进降雨入渗，增加土壤蓄水量。由于可有效地抑制土壤蒸发，如同水砂田，利用秸秆覆盖也可节约灌溉用水。秸秆覆盖的一个显著特征就是还可以培肥土壤。但秸秆覆盖引起的低温以及“氮饥饿”问题值得注意，播种后可适当推迟覆盖，覆盖的同时可增施氮肥。目前，实践中还有秸秆和地膜（播种行）结合的地面相间全面覆盖，也可弥补秸秆覆盖的弱点，因为地膜覆盖如同砂石覆盖既保墒又增温。

3.2 化学覆盖

化学覆盖是利用化学物质进行的覆盖，也有多种尝试，如成膜法、泡沫法、粉末法等^[2, 40]，而应用较多的是成膜法。成膜法除上述地膜覆盖外，还有如土面增温剂或保墒增温剂的应用。将其水乳液喷洒在地表形成的薄膜层与地膜有着相似的功能，但不妨碍种子自然出土。此类物质造林时可喷洒植树穴面，沙地应用在抑制蒸发的同时还可防止风蚀。在二类膜盖上再覆厚 2~6 cm 的土层，可延长其保墒有效期。

中国自 1978 年引进地膜技术后，覆盖面积不断扩大，1998 年时居世界第一，达到 1000 万 hm^2 ^[41]。由于地膜覆盖保墒效果明显，目前在北方广泛推行，特别是地膜玉米、地膜小麦、地膜洋芋、地膜棉花在不同类型区有较

大的发展。半干旱偏旱区田间微集水技术或微型分水岭方法（垄沟相间，垄上覆膜，沟内种植）取得显著的增产作用。蓄水覆盖丰产沟耕作有二种地膜覆盖形式：盖沟不盖垄的半覆盖和沟垄均盖的全覆盖（沟内拱形作床铺膜）。在冬、春降水不多的情况下，地膜覆盖最好在雨季结束后就进行，可保住土中墒而不被蒸发。随播种覆盖，其效果并不一定理想。造林树穴覆膜^[2, 16, 42, 43]，一般随植树而进行，但提前至秋末冬初实施，同样还是比较好。将树穴修成漏斗状，“围裙”覆膜，可兼具集流和抑制蒸发的双重效果。

3.3 生物覆盖

生物覆盖是在农田休闲期进行，夏闲地种植绿肥（野豌豆、毛苕子等）、豆科作物，冬闲地种植油白菜、菠菜、小青菜等抗寒性较强的蔬菜，都有一定的蓄水保墒效果，尤其绿肥或豆科作物培肥土壤，具有重要的意义。近些年来，果园生物覆盖得到倡导，果园行间种植白三叶草、黑麦草等，以及自然生草，以克服传统清耕法的缺点：易导致土壤侵蚀，不利于土壤结构的保持以及土壤水分、养分的提高等。果园生物覆盖与发展少、免耕的趋势一致。

土壤中施用表面活性剂，可削弱毛管水的表面张力，降低毛管水的上升，土壤表面易形成干土层，与覆盖同样具有减少土壤蒸发损失的效果^[2]。造林覆盖采用秸秆、地膜、塑料泡沫等，喷洒沥青乳液、橡胶乳液、石油树脂等，以就近取材为便捷，如割取草灌枝覆盖，采用砾石、沙子等。为防风蚀干扰，采取防护措施进行造林，沙地上设置草方格、草把丛、草带、黏土垄等机械沙障，其实也是一种类型的覆盖。

4 土壤防漏

沙土、黏土、轻壤土、重壤土等在土壤剖面上的上下组合而形成的不同土体构造，对土壤水分运行有着重要的影响。如果形成蒙金型（质地上粗下细）或者夹层型（质地夹层偏重而上、下层偏轻）这样良好的土体构造，就有利于水分的保持。因此，需要采用耕作、培肥等措施去创造，尤其对于上下质地均一的土壤（均质型），如黄绵土、沙土等。美国曾在沙土深 66 cm 处施 3 mm 厚的沥青乳液^[2]。其实塑料薄膜也可以这样利用。水稻田既可在犁底层喷施沥青乳液，也可在表土施无机药剂斑脱土或有机无机结合体聚乙烯醇/斑脱土，就能达到防止渗漏的目的^[2]。前苏联在流沙地区栽植松树的成功经验，就是在植树坑底部施放泥炭或黏土间层，通过提高沙地的持水能力而阻留水分。中国曾借鉴此法在沙区造林，也有效地促进了树木的成活及生长^[9]。沙地利用塑料袋（宽 50 cm，长 90 cm）植树具有类似的道理^[44]。沙地层施泥炭、大豆荚碎片等蓄水物，腐熟后还可增加肥力。

5 小 结

1) 在旱区人工植被培育中，合理处置土壤是充分利用降水的重要环节，抗旱不可缺少的关键内容^[45]。伏雨、秋雨春用，春旱秋抗，以肥养墒，以肥调水等，都与土

壤处置有着直接的关系。由许多旱区农谚表明, 早期人们对土壤底墒的调控以及肥料的使用都有一定的深刻认识。由原始农业到传统农业, 再至现代农业, 伴随着农业机具显著的不断进步, 耕作深度由浅耕 (10~13 cm) 到深耕转变, 实行保护耕作^[27,46,47], 倡导少、免耕, 从有机肥到广泛应用化肥, 大量使用薄膜。同时, 造林重视整地, 讲究集流, 整地、植树、播种亦有机械化的趋势。机械化使土壤处置更有成效。

2) 耕作或整地是最为突出的土壤处置方式。以夏季休闲为主, 形成了伏耕为中心的土壤耕作制; 以冬季休闲为主, 形成了秋耕为中心的土壤耕作制。造林整地在时间上基本类同伏耕或秋耕。平整地面或造反坡, 坑穴、沟、垄埂、挡 (横埂) 组合, 垄沟、坑穴等交错排列 (品字型), 而深耕攸关耕作 (整地) 质量。春季或冬季土壤耕作主要是为了保墒而非蓄墒。通过整地或耕作, 保蓄水分, 促进养分转化以及培肥地力。用地和养地结合, 可促进人工植被的持续发展。在平整土地、改良和培肥土壤以及采用有利于保墒的耕作制度和栽培方法中, 改良和培肥土壤是强化抗旱能力的重要步骤。根据气候、地形、土壤、种植制度、农林特点等, 进行土壤处置是适宜的。由于秸秆等覆盖物本身截持降水, 在降水量较多的地区使用一般无大碍, 但在降水量较少的地区使用会影响土壤蓄积更多的降水。对可透水性覆盖物, 应要求其透水性强, 持水力弱。可见, 选择适宜的覆盖材料、使用数量、使用方式是有意义的。随着气候的暖化, 降水方面出现的新特点, 值得我们注意, 以使土壤处置与气候变化相适应。

3) 土壤处置促进降水入渗、抑制蒸发、控制深层渗漏, 达到蓄水保墒、高效用水的目的, 应当将需要与可能相结合, 根据不同情况采取相应的有效措施。种植豌豆、苜蓿等养地作物是培肥土壤的传统作法, 然而, 由于化肥的应用, 生物养地事实上在不少地方已鲜见, 粮食作物连作已取代粮豆或粮草轮作。问题的关键在于土壤肥力平衡。从此角度看, 化肥使用增加了根茬量^[20], 单纯使用化肥所产生的负面影响不能一概而论。水土保持耕作与修筑梯田相比, 费省效宏, 行之有效。因此, 在修筑梯田的同时, 也应当重视实施水土保持耕作。由于深耕具有后效, 深耕间隔期以 3 a 为限或是一个轮作周期, 一般为 2~4 a。当然, 在劳动力和机具允许的情况下, 缩短深耕间隔期, 也未尝不可。事先整地可加快造林进度, 尤其雨季造林、种草, 但必须考虑整地时所需的劳动力。可以看到, 土壤处置, 尤其耕作 (整地), 是以技术经济条件为前提, 兼顾技术和经济两方面的问题, 才能取得较好的结果。

4) 本文主要讨论半干旱地区, 也即旱作条件下的耕作、覆盖等土壤处置。然而, 在灌溉条件下, 为最大限度地利用水分, 这些旱作技术仍然是重要的。在蓄水保墒、尽可能利用降水和土壤贮水的基础上, 可达到减少灌溉水及节约用水的目的。灌水、施肥是现代集约化经营的基本标志, 在农业生产中作为关键措施而广泛推行, 而人工林、草植被培育, 在条件许可的情况下, 必要的

灌水、施肥措施的应用必将受到人们更多的关注, 相应的土壤处置也需要深入探索。

5) 造林重视整地, 但对土壤蒸发的控制往往注意不够。整地后, 上层土壤含水率在雨季末期一般都较高, 而到次年春季却往往大大降低。因此, 雨季后及时采取耕作保墒或覆盖保墒处理, 甚至整地后破土面全面或局部 (种植点) 覆盖秸秆等, 是十分必要的。中国荒漠化及土壤侵蚀生物治理任务艰巨, 不可忽视对土壤处置技术的改进, 重视覆盖等造林技术的应用, 以增强抗旱保墒的效果。

6) 翻耕与耙耱、镇压等表土耕作措施配套, 对蓄水保墒来说是不可分割的。与深耕或覆盖相比, 在深耕 (深松) 基础上增加秸秆覆盖的覆盖耕作无疑更加有利于蓄水保墒。休闲耕作结合增施有机肥料, 改善土壤结构, 加速深层土壤熟化, 才能更好地发挥深耕的作用。通过增施有机肥, 化肥的使用效果会更明显。深施肥^[22,23], 可提高肥效。以氮促磷, 以磷增氮, 水肥耦合, 表明了氮肥和磷肥之间、水和肥之间的关联效应。实践表明, 采取单方面的技术措施往往收效不显著, 而适当组合的技术措施较单项措施具有较大的增产、增效作用。由前所述, 虽然途径是多方面的, 但多是单项研究, 缺乏多种措施的组装, 尤其一些新技术、新方法。况且, 在农业生产中, 氮肥的使用虽然已很普遍, 但却因挥发、残留、反硝化等, 损失比例大而肥料利用率低, 增肥不增产的问题比较突出。在目前一般栽培管理水平下, 氮肥的利用率为 30%~60%, 磷肥的利用率也仅有 10%~15%^[4]。北方旱地既缺水又缺肥的状况不是任何单一措施所能解决的。因此, 采取综合的有效措施解决旱地农业中存在的上述问题, 促进水肥协调, 增产又增效, 有着重要的实践意义。技术措施合理组合也是农林生产的必然要求, 攸关增强土壤处置的效果, 需要进一步开展相关研究。

7) 免耕始于天然植被的启示。相对于依靠农机具进行翻耕等处理的常规耕作, 免耕保持土壤的自然结构, 依靠作物根群的作用, 以生物代耕, 虽不扰动土壤, 但须有残茬、秸秆、砂石等的覆盖。由于免耕种植要求一次能完成浅耕、开沟、施肥、播种、覆土、镇压等多项作业的免耕播种机以及使用化学除草剂, 目前免耕应用还存在一定的局限性。然而, 在常规耕作的基础上形成, 介于常规耕作与免耕之间的少耕, 由于没有特别严格的应用条件要求而易于推行。

高粱、谷子等瘦茬、硬茬地需要翻耕, 而豆类、马铃薯等肥茬、软茬地, 事实上, 可以不翻耕, 采用耙耱处理即可。少耕有多种形式, 如以旋耕代翻耕、以耙代耕、深松耕、免中耕等, 有些已在生产中得到较多的应用。风蚀地区采用少、免耕以垄作为基础, 坡地也一般与等高种植、垄作等相结合。少、免耕有利于保蓄土壤水分而避免翻耕损失, 有利于克服翻耕加快有机质的矿化分解、降低土壤潜在肥力以及易形成紧实犁地层的弱点, 有利于提高经济效益, 是控制水土流失、防止风蚀的一项有效措施^[48-50]。作物由于培育周期短, 一般几乎每年都耕作, 而林、草由于培育周期较长, 不可能这样

频繁地耕作,一次整地后要经过相当长的时间。少、免耕在作物培育中容易引起人们的注意。其实,造林、种草方面,局部整地、随整随栽、不经整地即播种等与少、免耕类似。造林、种草也应当重视少、免耕。少、免耕是传统农业向现代农业转变的一个重要标志,值得深入研究评估并加以完善。

[参 考 文 献]

- [1] 辛树帜. 我国水土保持的历史研究(初稿)[J]. 科学史集刊, 1959, (2): 31—72.
- [2] 中国农业科学院农业气象研究室. 北方抗旱技术[M]. 北京: 农业出版社, 1980: 193—434.
- [3] 朱显谟. 黄土高原土壤与农业[M]. 北京: 农业出版社, 1989: 366—394.
- [4] 王龙昌, 贾志宽. 北方旱区农业节水技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1998: 24—106.
- [5] 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: 31—44.
- [6] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 367—377.
- [7] 中国科学院黄河中游水土保持综合考察队. 黄河中游的林业[M]. 北京: 科学出版社, 1959: 84—128.
- [8] 北京林学院. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981: 187—202.
- [9] 中国科学院林业土壤研究所. 林业集刊, 第三号[M]. 北京: 科学出版社, 1960: 1—154.
- [10] 中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古自治区及东北西部地区林业[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 102—120.
- [11] 苏文饬. 我国干旱半干旱地区造林概述[J]. 林业科技通讯, 1987, (7): 1—4.
- [12] 张康健, 薛德自, 孙长忠, 等. 干旱阳坡植苗造林新方法[J]. 林业科技通讯, 1988, (10): 24—25.
- [13] 王国礼, 赵 忠, 陈绍辉, 等. 黄土高原地区反坡梯田整地对林分生长的长期效益[J]. 林业科技通讯, 1987, (6): 7—9.
- [14] 李银芳. 利用龟裂地径流的两种集水方式进行梭梭造林[J]. 林业科技通讯, 1986, (10): 17—20.
- [15] 彭祚登, 宋廷茂, 张鸿雁. 世界干旱半干旱地区集水造林技术研究应用的现状及其发展动向[J]. 世界林业研究, 1996, 9(3): 29—36.
- [16] 丁学儒, 李书靖, 赵克昌. 径流集水造林[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1994: 6—99.
- [17] 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, 34(4): 14—21.
- [18] 余清珠, 王进鑫, 高文秀, 等. 集流抗旱造林技术优化模式研究[J]. 水土保持通报, 1993, 13(4): 15—19.
- [19] 苏印泉, 张康健, 薛德自, 等. 燕翅形整地对土壤水分及幼树生长的影响[A]. 王佑民. 黄土高原沟壑区综合治理及其效益研究[C]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 129—133.
- [20] 刘巽浩. 以无机促有机 无机有机结合——兼论“有机农业”[J]. 农业现代化研究, 1983, (1): 13—16.
- [21] 王留芳. 农业生态学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994: 284—288.
- [22] 山 仑. 我国西北地区植物水分研究与旱地农业增产[J]. 植物生理学通讯, 1983, 19(5): 7—10.
- [23] 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, 152.
- [24] 李立科, 田家驹, 高 华, 等. 磷肥对渭北旱原小麦抗旱增产的作用[J]. 陕西农业科学, 1982, (5): 7—10.
- [25] 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.
- [26] 山 仑. 植物水分利用效率和半干旱地区农业用水[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30 (1): 61—66.
- [27] 陶毓汾, 王立祥, 韩仕峰, 等. 中国北方旱农地区水分生产潜力及开发[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 133—188.
- [28] 山 仑. 提高半干旱地区旱地农田生产力的现实途径和未来策略. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1988, 第 8 集: 1—9.
- [29] 王立祥. 西北黄土高原农田降水生产潜势及开发的研究[J]. 西北农学院学报, 1982, (2): 37—50.
- [30] 罗志成. 北方旱地农业研究的进展与思考[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(1): 4—13.
- [31] 刘忠民, 山 仑, 马国忠, 等. 提高宁南山区旱地春小麦产量及水分利用的综合技术途径研究[J]. 水土保持研究, 1996, 5(1): 91—98.
- [32] 刘巽浩, 石元春, 韩湘玲, 等. 在农业发展中要重视物质投入[J]. 农业现代化研究, 1983, (4): 1—3.
- [33] 王青宁, 王晗生, 周景斌. 黄土高原植被建造的林业基础分析[J]. 内蒙古农业大学学报, 2005, 26(2): 115—120.
- [34] 巫东堂, 王久志. 土壤结构改良剂及其应用[J]. 土壤通报, 1990, 21(3): 140—143.
- [35] 北京林学院. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982: 124—139.
- [36] Ben-Hur M, Keren R. Polymer effect on water infiltration and soil aggregation[J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61: 565—570.
- [37] Ben-Hur M, Letey J. Effect of polysaccharides, clay dispersion, and impact energy on water infiltration[J]. Soil Sci Soc Am J, 1989, 53: 233—238.
- [38] 陆 军, 黄兴法, 唐泽军, 等. PAM(聚丙烯酰胺)应用于西北黄土地区旱作农业的经济分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 97—100.
- [39] 王晗生, 王青宁. 保水剂农用抗旱增效研究现状[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(4): 38—45.
- [40] 程维新. 土面增温剂抑制农田蒸发的效果[A]. 中国科学院地理研究所. 水文分析与实验, 地理集刊, 第 12 号[C]. 北京: 科学出版社, 1980: 53—59.
- [41] 吴序卉, 蒲小鹏. 地膜覆盖对高寒地区燕麦+豌豆人工草地土壤温度和水分的的影响[J]. 草业科学, 1999, 16(3): 13—16.
- [42] 彭永山, 李 昕, 章一平, 等. 覆盖地膜提高干旱地区造林成活率的研究初报[J]. 林业科技通讯, 1984, (7): 15—17.
- [43] 尹凤龙, 余承源, 陈邵周. 半干旱石质山地覆膜造林技术研究初报[J]. 林业科技通讯, 1987, (12): 7—12.
- [44] 滕元文, 赵金龙, 周湘红. 保水剂与塑料袋栽植技术对沙地幼龄果树生长发育的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(1): 19—23.
- [45] 王晗生. 植被培育抗旱分析[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1):

- 391—395.
- [46] 何 进, 李洪文, 高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 62—67.
- [47] 韩 宾, 李增嘉, 王 芸, 等. 土壤耕作及秸秆还田对冬小麦生长状况及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 48—53.
- [48] 臧 英, 高焕文, 周建忠. 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 56—60.
- [49] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 免耕条件下农田休闲期直立作物残茬对土壤风蚀的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 66—71.
- [50] 王金莲, 赵满全. 麦茬深松地表土壤风蚀试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 27—30.

Comprehensive measures for improving drought resistance of soil in cultivation of artificial vegetation

Wang Hansheng^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: Cultivating artificial vegetation under drought circumstances needs to take adequate measures for drought resistance indispensably. Soil is a notable controlled object as carrier of water and nutrients required by plant growth and development, and reasonable treatments of it are closely related with drought resistance. Soil water storage, restraint evaporation, soil improvement and betterment of land fertility are beneficial to the using of limited water. The comprehensive measures for improving drought resistance of soil include several aspects such as soil tillage, soil fertilization, soil mulching and preventing water seepage to deep layer. In the background of the climate warming, in order to enhance the effects of measures for improving drought resistance of soil and raise their technical level, ways and characteristics of soil drought resistance measures concerning water storing, water retaining, water harvesting and water using were analyzed. Based on the synthetical review, issues on application of techniques for soil drought resistance measures and main aspects which needed to research for the future were also presented.

Key words: crop cultivation, forestation and grass planting, drought resistance, techniques