

黄土高原水土保持分子生物学与生物技术措施

邵宏波^{1, 2, 3}, 邵明安^{2, 4, 5}, 梁宗锁^{2, 5}

(1. 重庆邮电大学生物信息学院, 重庆 430065; 2 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100; 3 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 5 西北农林科技大学, 杨凌 712100)

摘要: 在概述水土保持研究主要成就的基础上, 重点从分子生物学与生物技术角度来阐明黄土高原水土保持研究的策略与新思路。利用生物措施中的植被进行黄土高原的水土保持工程与生态环境改良有着明确的目的性与可控制的操作性。从分子生物学与生物技术角度进行黄土高原的水土保持研究与生态环境改良, 目前还有很多问题需要深入研究, 但是相关的农业、林业、园艺、医药业等实验结果与取得的社会经济效益说明其思路是可行的, 并且在本世纪内必将得到认可。深信从内因入手考虑黄土高原水土保持研究是根治问题的关键。

关键词: 黄土高原; 水土保持; 植被建设; 分子生物学; 生物技术; 策略

中图分类号: Q 149; Q 948 1; S157; X171

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)04-0019-04

1 引言

目前, 人类所面临的重大难题是“人口、资源、环境、发展(PRED)”, 而环境问题是其中更为重要的问题^[7-10, 19-22]。中国的黄土高原(Loss Plateau)由于其特有的地理地貌特征和严重的水土流失及脆弱的生态环境而受到世人的瞩目, 尤其受到了我国政府的高度重视。早在 1955~1958 年间, 中国科学院黄河中游水土保持考察队进行了为期 4 年以水土保持为中心的科学考察, 为国家制定水土保持方针、政策、沿黄规划及黄河中游水土保持规划提供了科学依据。后来国家又在“七五”、“八五”、“九五”期间, 相继投入了大量经费进行黄土高原地区综合治理与开发研究, 取得了一批有重大意义的成果, 并先后建成了 11 个综合治理试验示范区, 为黄土高原生态环境综合治理及地区农村经济可持续发展提供了成功经验并起到了有成效的样板与推广作用^[26]。

然而, 值得注意的是, 中国科学院黄土高原综合科学考察队遥感调查数据显示该地区水土流失面积仍在扩大(已达 34 万 km²), 只是局部好转。这种局面再继续下去将严重制约该区资源开发和经济发展, 并将威胁周边地区的生态安全。面对这种紧迫性和重要性, 国家已给予了极大的关照, 并将黄土高原地区生态环境建设列为重点建设地区^[1-5]。值此西部大开发的挑战与机遇时期, 认真总结并明确黄土高原水土保持研究的现状及存在的问题, 并在此基础上从自然科学中发展最为迅速的分子生物学及生物技术角度探索黄土高原及水土保持

研究的新思路将对于黄土高原生态环境建设有着决定性意义^[15-18, 25, 26]。

2 黄土高原水土保持研究的现状及存在的主要问题

黄土高原水土流失区的综合治理及生态环境建设是黄土高原环境整治的主要任务^[26, 40]。经过科技工作者近半个世纪的努力, 黄土高原水土保持研究取得了显著进展, 表现在水土流失及土壤侵蚀区的划分, 相关的预报模型建立与动态仿真模型开发, SPAC 理论的验证与拓展, 不同生态环境下水分及养分迁移规律研究和小流域定点试验站的建立与推广工作等^[1-5, 7-11, 14, 18, 26]。这些工作对于 21 世纪黄土高原水土保持研究与生态环境建设有着重要的指导意义。

2.1 黄土高原水土保持研究的现状

黄土高原水土流失与土壤侵蚀强度存在着时空变化, 是自然因素和人为因素作用于区域差异的综合反映^[4, 6]。根据中国科学院黄土高原综合科学考察队遥感调查的最新数据分析表明, 黄土高原地区各省(区)土壤侵蚀面积(表 1)可分为六个级别的侵蚀强度: 微度侵蚀区面积(I级: 输沙模数在 1000 t/(km²·a)以下); 轻度侵蚀区(II级: 输沙模数为 1000~2000 t/(km²·a)); 中度侵蚀区(III级: 输沙模数为 2000~5000 t/(km²·a)); 强度侵蚀区(IV级: 输沙模数 5000~10000 t/(km²·a)); 极强度侵蚀区(V级: 输沙模数为 10000~15000 t/(km²·a)); 剧烈侵蚀区(VI级: 输沙模数大于 15000 t/(km²·a))。表 1 说明输沙模数大于 15000 t/(km²·a)的剧烈侵蚀区占有相当大的比例, 而且有增加之趋势, 它们构成了黄河流域产沙量的主要根源^[11, 16-18, 22]。

在明确黄土高原水土流失成因及治理重点和方向的基础上, 先后建成了 11 个试验示范区(表 2)。通过长期定位试验研究, 形成以改善生态环境, 提高土地生产力为目标, 以合理利用水土资源为特征的区域治理技术体系, 已取得了明显的生态效益, 为当地的经济可持续

收稿日期: 2002-12-05 修订日期: 2003-02-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(No. G2000018605); 中国科学院知识创新项目(KZCX2-411); 国家杰出青年科学基金(No. 40025106); 国家自然科学基金重大研究计划(90102012)共同资助
作者简介: 邵宏波(1964-), 吉林人, 男, 博士, 研究员, 主要从事植物生物技术、分子生物学、生理生态学及土壤科学等研究与教学工作。重庆 重庆邮电大学生物信息学院, 430065, Email: Shaohong-bochu@hotmail.com

发展做出了一定贡献。

表1 黄土高原地区土壤侵蚀面积及强度分级

Table 1 The soil-eroded areas and intensity classification on Loess Plateau areas km²

省(区)	侵蚀模数/t·km ⁻²						
	> 500 I-II	> 1000 III	> 5000 IV	> 10000 V	> 15000 VI	> 20000	> 25000
青海	13789	11814	2977				
甘肃	87680	82410	10898	1544			
宁夏	29286	19074	8669	58			
内蒙古	26538	20980	12888	8959	6139	2019	767
陕西	83556	73384	44985	32659	19659	6659	2650
山西	86189	75707	47638	23756	12956	1665	
河南	11748	8228	308				
合计	338787	291597	166254	76330	40298	10343	3417

表2 黄土高原综合治理试验示范区

Table 2 Demonstration districts of experiments on Loess Plateau areas

类型区	试验区	主沟道长度/km	沟壑密度/km·km ⁻²	土壤侵蚀模数/t·km ⁻²	土壤侵蚀类型
黄土丘陵沟壑区	准格尔旗五分地沟	2 652	2 37	> 20000	剧烈
	河曲砖窑沟	15 600	2 90	> 20000	剧烈
	离石王家沟	2 100	3 81	> 10000	极强
	米脂泉水沟	3 850	3 89	> 10000	极强
	安塞纸坊沟	5 900	2 59	> 10000	极强
	固原上黄村	6 450	2 16	> 5000	强度
	西吉黄家二岔沟	4 100	3 32	> 5000	强度
黄土高原沟壑区	定西高泉沟	6 700	1 57	> 5000	强度
	长武王东沟	4 850	2 76	> 5000	强度
黄土高原台塬区	淳化泥河沟	7 500	2 13	> 5000	中度
	乾县枣子沟	2 900	1 89	< 2000	轻度

2.2 黄土高原水土保持研究存在的主要问题

尽管经过几代科学工作者的努力,黄土高原的水土保持研究取得了一批有意义的成果,并对指导当地经济可持续发展起到了一定的作用,但是黄土高原生态环境恶化的趋势仍在加强,即出现所谓的“局部好转,整体恶化”的局面^[24-27,40]。整体上讲,黄土高原的生态环境并未得到根本上的改变,当然这里也可能存在着政策导向方面的问题,造成这一问题的主要原因在于水土流失加重,沙漠化扩大,资源性缺水及植被减少。因而,结合自然科学中发展最为迅速的分子生物学及生物技术成果,利用生物修复技术(bioremediation),探索黄土高原水土保持研究的分子生物学及生物技术思路有着重要的理论与实际意义^[11,15,27,40]。

3 黄土高原水土保持的分子生物学及生物技术措施

分子生物学(molecular biology)及其应用(生物技术)对人类已产生了深刻的影响,创造了显著的经济、社

会及生态效益,已广泛地应用于农业、工业、林业、医药卫生及环境保护业等^[13,15,28-37,40]。

3.1 分子生物学仍将是21世纪自然科学发展的主流

中国科学院资深院士邹承鲁先生认为21世纪仍将是分子生物学大发展时期,分子生物学是自然科学中发展最为迅速的领域^[15,28]。在结合水文学、土壤学、农学、耕作学、气象学、生理生态学等已取得进展基础上,利用分子生物学与生物技术手段来探索黄土高原水土保持研究的思路必将是可行的,而且是有希望的。这方面相关的研究已有些报导,主要是利用转基因植物(transgenic plants)系统来进行的。作为渗透保护剂(osmoprotectants)的低分子量代谢物积累是许多生物对干旱、盐碱条件的一种适应反应。B ray(1997)在水分缺乏时,从乌头叶菜豆(Vigna aconitifolia)克隆的P5CS(二氢吡咯-5-羧酸合成酶)在烟草中的表达使脯氨酸含量与野生型相比增加2倍,他利用微生物果糖转移酶基因已构建了积累多聚果糖分子的转基因烟草工程植株。这些植株在聚乙二醇(PEG)调节的干旱胁迫下表现出良好的生长,所积累的果聚糖水平与耐性程度是显著的正相关。Holmström等(1996)还成功地将一种编码海藻糖的酵母基因转入烟草,在这种转基因烟草植株中,海藻糖的含量为0.8~3.2 mg·g⁻¹·dw⁻¹,而在未转化对照植株中只有0.06 mg·g⁻¹·dw⁻¹。对照幼苗在风干2 h后,表现出萎蔫现象,并在风干7 h后倒伏,当在重新给水后,它们死亡。而转基因的幼苗只有在风干超过7 h后叶片边缘才出现萎缩现象,并在重新给水后,它们又完全恢复膨压并重新开始生长。最近有关干旱胁迫(drought stress)信号传导及ABA应激反应分子生物学机制研究已成为植株分子生物学前沿热点领域之一^[29,35]。在人类基因组(human genome)及水稻基因组和其它模式生物(线虫、果蝇、拟南芥、小麦、玉米)基因组序列框架即将完成或已完成的基础上,黄土高原生态环境与生物技术改良研究将会有有一个开端。

3.2 黄土高原水土保持研究的路线与策略

随着分子生物学的发展及抗旱基因(drought resistant genes)分离与克隆技术的成熟,已有多种干旱胁迫基因(drought-stress genes)得到了分离与克隆,这些供试的植物包括车前草(Craterostigma plantagineum),拟南芥,西红柿,小麦,大豆,大麦,豌豆,向日葵,玉米^[29,32-35]。另外对于植物对干旱胁迫的分子生物学机理也有了深入的认识。目前对于水分胁迫主要的根源信号(root source signals)已有共同的认识(ABA)^[38,39],并且对其胁迫反应的基因表达调控机制已经有了主体框架^[30,31,33,35,38,39],认为植物在干旱胁迫条件下至少主要有4条信号传导途径,其中2条途径是依赖ABA,另外2条途径是不依赖ABA的。对于干旱胁迫所诱导的蛋白质功能也有了很好的了解,这些工作对于生物技术改良黄土高原的生态环境有着重要指导意义,为培育适应于黄土高原生态环境的作物及林草及解决本质性水土流失问题提供了理论依据。因而,在积极开展相关于黄土高原生态环境优势植物(dominant plants)抗干旱

抗风蚀等逆境生理生态分子生物学研究下,充分利用已有的抗逆性基因资源并开展生物技术研究将为根本意义上解决黄土高原水土保持问题及相关的生态环境改良提供新的路线与思路(图1)。

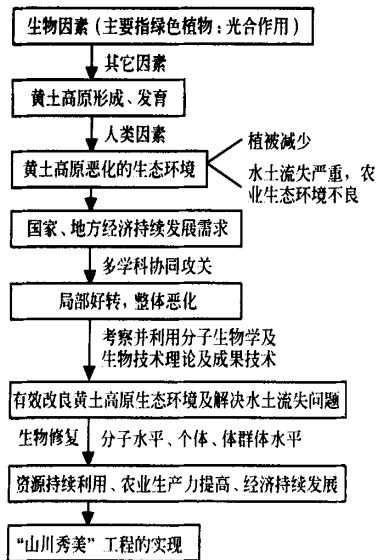


图1 黄土高原水土保持与生态环境改良的新思路与策略

Fig 1 The strategy for the ecoenvironmental improvement and solution to soil and water conservation problems on Loess Plateau areas of China

4 结论

黄土高原是中华民族文明的发祥地,是具特征性地理自然景观的半干旱地带。由于长期加剧的人为活动干扰使其生态环境十分脆弱,水土流失严重,植被覆盖率低下,农业生产力水平低下并造成了严重的恶性循环,这种局面已经制约了西部地区和国家经济及资源开发的可持续发展^[10~14,18~22]。在新的世纪里,国家已把黄土高原地区列为西部开发的重中之重,在这样的形势下,有必要总结黄土高原生态环境建设及水土保持研究所取得的成果与经验并且探索其新的综合治理策略。

黄土高原水土流失与缺水干旱有着密切的关系,而干旱胁迫又是影响植物生长发育及成熟的主要逆境因子(stress factors)。纵观20世纪分子生物学及生物技术已取得的进展和为人类已做出的贡献及21世纪生命科学的发展态势,完全有理由认为充分利用国内外,尤其我国丰富的植物资源特别是黄土高原植物资源[如,柠条(*Caragana korshinskii*),沙棘(*Hippophae rhamnoides*),苜蓿(*Medicago sativa*),甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)],研究其干旱胁迫的分子生物学机制,并利用生物技术手段提高农作物、林草的干旱忍耐力,对于减轻及防止黄土高原水土流失蔓延、沙漠化,改善生态环境及增加植被覆盖面积和提高作物产量都有着重要的理论及现实意义。因此,结合与生物学相关学科及与土壤科学相关学科取得的成果,利用分子生物学理论和生物技术手段,以生物因素为切入点探索黄土高原生态环境改良及水土保持研究思路(图1)的时代已经

来临。然而,值得说明的是,由于黄土高原生态环境建设是跨世纪的系统工程,仍然继续需要其它多学科的协同攻关并相互借鉴,方可能达到预期的目标。当然,在实施生物技术改良黄土高原生态环境的策略时,还有许多问题需要加强研究和协调,如植物干旱的分子生物学机制问题,与干旱胁迫相关的基因还只有少数得到了鉴定,还只有少部分相关的编码蛋白功能(Coded protein or peptide)被确定,植物对干旱胁迫信号的感知除了目前较公认的ABA外是否还有其它信号? Ca^{2+} 在植物干旱胁迫信号感知中起什么作用?其它四大类植物内源激素(endogenous hormone)在干旱胁迫信号感知中有什么作用?如何建立黄土高原生态环境改良的转基因作物及林草实验与田间基地体系等等问题均值得探讨。总之,在西部大开发机遇下,由于分子生物学手段日新月异和其它学科的协助,黄土高原生态环境建设必将在新的世纪内进入一个新的阶段。

【参考文献】

- [1] 金晓江,任化炜 环境生物技术应用于环境保护的新进展[J] 环境保护,2002,2: 18~19
- [2] 李忠魁 发挥水土保持效益,建设良好生态环境[J] 世界林业研究,2002,12(2): 15~21
- [3] 石虹 浅谈全球水资源态势和中国水资源环境问题[J] 水土保持研究,2002,9(1): 145~151
- [4] 张青峰 黄土高原的土壤侵蚀与保护[J] 山西水土保持科技,2002,1: 21~23
- [5] 彭珂珊,邓西平,徐学选 黄土高原农业高效调水关键技术研究[J] 山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(4): 397~402
- [6] 王玉玺,解运杰,王萍 东北黑土区水土流失成因分析[J] 水土保持科技情报,2002,3: 27~29
- [7] 邵明安,上官周平,康绍忠,等 坡土水分养分动力学研究的基本思路[M] 见:邵明安主编:黄土高原土壤侵蚀与旱地农业 西安:陕西科学技术出版社,1999,1~8
- [8] 胡良军,邵明安 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究[J] 应用生态学报,2002,13(8): 1045~1048
- [9] 邵明安 农田生态系统中物质迁移过程研究[M] 西安:陕西人民出版社,2001
- [10] 邵明安 土壤物理与生态环境建设研究文集[C] 西安:陕西科学技术出版社,2002
- [11] 黄健军 陕西生态环境问题及其威胁研究[J] 西北大学学报(自然科学版),2002,32(2): 194~198
- [12] 杨海君,汤楚宙 我国现代精准农业的发展方向[J] 作物杂志,2002,16(1): 4~6
- [13] 山仑 旱地农业技术发展趋向 中国农业科学[J], 2002,35(7): 848~855
- [14] 韦江波,李锐,杨勤科 我国植被水土保持功能研究进展[J] 植物生态学报,2002,26(4): 489~496
- [15] 邵宏波 分子生物学发展前沿与展望[M] 北京:中国农业科技出版社,1993
- [16] 张清春,刘宝元,霍刚 植被与水土流失研究综述[J] 水土保持研究,2002,14(4): 82~88
- [17] 石培礼,李文华 森林植被变化对水文过程和径流的影响效应[J] 自然资源学报,2001,16(5): 481~487
- [18] 邵明安,上官周平,李凤民 对西部生态环境建设中环境

- 资源承载力的思考[C]. 见: 邵明安主编. 土壤物理与生态环境建设研究文集. 西安: 陕西科学技术出版社, 2002, 365~ 373
- [19] 唐克丽. 开发西部切入点的研究——以黄土高原生态环境切入点为例[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 504~ 513
- [20] 唐克丽. 黄土高原水蚀风蚀交错区治理的重要性与紧迫性[J]. 中国水土保持, 2000, 11: 11~ 13
- [21] 唐克丽. 退耕还林还牧与保障食物安全的协调发展问题[J]. 中国水土保持, 2000, 8: 35~ 37
- [22] 唐克丽. 土壤侵蚀环境演变与全球变化及防灾减灾的机制[J]. 土壤与环境, 1999, 8(2): 81~ 86
- [23] 国风山. 抓住机遇, 开拓创新, 努力提高国土资源及可持续发展保障能力[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 657~ 664
- [24] 贾宝全, 张志强, 张红旗, 等. 生态环境用水研究现状、问题分析与基本框架探索[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1734~ 1740
- [25] 赵其国, 周健民. 为 21 世纪土壤科学的创新发展做出新的贡献[J]. 土壤, 2002, 5: 237~ 256
- [26] 张汉雄, 邵明安. 黄土高原生态环境建设[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2001.
- [27] 张信宝, 安芷生. 黄土高原植被建设的建议[N]. 科学时报, 2002
- [28] 邹承鲁. 走向 21 世纪的分子生物学[J]. 中国科学院院刊, 2001, 1: 1~ 5
- [29] Editorial. Plant physiology: past, present, and future. *Plant Physiology*, 2001, 125: 1~ 3
- [30] 沈元月, 黄丛林, 张秀梅, 等. 植物抗旱的分子机制研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 30~ 34
- [31] 宋松泉, 王彦荣. 植物对干旱胁迫的分子反应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1037~ 1044
- [32] Kanampiu F, et al. Appropriateness of biotechnology to African agriculture: Striga and maize as paradigms. *Plant Cell Tiss Org Cult*, 2002, 69: 105~ 110
- [33] Bray F A. Plant responses to water deficit[J]. *Trends Plant Sci*, 1997, 2: 48~ 54
- [34] Holmström K, Mantyla E, Welin B, et al. Drought tolerance in tobacco[J]. *Nature*, 1996, 379: 683~ 684
- [35] Imamura A, Hanaki N, Nakamura A, et al. Compilation and characterization of Arabidopsis response regulators implicated in His-A sp phosphorelay signal transduction[J]. *Plant Cell Physiol*, 1999, 40: 733~ 742
- [36] Shama K K, et al. Development and deployment of transgenic plants: biosafety considerations[J]. *In Vitro Cell Dev Biol Plant*, 2002, 38: 106~ 115
- [37] Gamborg O F. Plant tissue culture[J]. *Biotechnology, Milestones* ibid, 2002, 38: 84~ 92
- [38] Liang Z S, Zhang F S, Shao M A, et al. The relationships of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during drying and rewatering cycle of wheat[J]. *Bot Bull Acad Sin*, 2002, 43: 187~ 192
- [39] Jia W S, Xing Y, Lu C M, et al. Signal transduction from water stress perception to ABA accumulation[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(10): 1135~ 1141
- [40] 黄志霖, 傅伯杰, 陈利项. 恢复生态学及黄土高原及生态系统的恢复与重建问题[J]. 水土保持学报, 2002, 15(3): 122~ 125
- [41] 胡志昂, 王洪新. 分子生态学进展[J]. 生态学报: 1998, 18(6): 565~ 574

Molecular biology and biotechnology strategy for study of soil and water conservation on Loess Plateau

Shao Hongbo^{1,2,3}, Shao Ming'an^{2,4,5}, Liang Zongsuo^{2,5}

(1. *Bioinformatics College, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 430065, China;* 2. *State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming, Centre of Soil and Water Conservation and Ecological Research, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China;* 3. *The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;* 4. *Institute of Graphical Sciences and Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;* 5. *Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China*)

Abstract: On the basis of the main achievements about the investigation of soil and water conservation, the strategy and the new thinking for the improvement of ecoenvironment on Loess Plateau were expounded, especially soil and water conservation, by molecular biology and biotechnology was expounded. On the basis of which the soil and water conservation engineering and eco-environmental improvement on Loess Plateau by the way of biological means of vegetation will have a clear and decided aim. The former related studies, mainly from the angle of the outside circumstance (outside factor) are lacking in clear aims and difficult to instruct sustainable utilization of the resources. The current situation of this field has fully implied this point. Although there are some problems remained to be deeply investigated and probably, a long way to go. The complete resolution to the soil and water conservation problem on Loess Plateau of China is dependent upon molecular biology and biotechnology.

Key words: Loess Plateau; soil and water conservation; vegetation construction; molecular biology; biotechnology; strategy