

青海大通山地退耕还林土壤渗透性研究

吕粉桃¹, 高国雄^{1,2}, 王荣秀³, 吴海霞⁴, 周心澄¹

(1. 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100; 3. 青海大通县实验林场, 810100;

4. 内蒙古自治区水利科学研究院, 呼和浩特 010020)

摘 要: 土壤渗吸性能是土壤重要的物理特征之一, 是生态效益的重要组成部分。采用双环渗透仪法, 对国家退耕还林还草工程科技试验县——青海省大通县退耕地土壤渗吸性能进行了系统研究。结果表明: 退耕土壤的总孔隙度、土壤容重、土壤含水量等物理性状与土壤的稳渗速率随着退耕年限的延长基本呈增大的趋势; 土壤渗吸过程具有明显的幂函数关系, 突出表现为初渗速度极大, 而随着渗透时间的进行, 其逐渐减小直至趋于某一常数亦即稳渗速度的过程; 不同退耕年限土壤的渗透性能存在差异, 同样渗水量退耕还林土壤最大渗透速率是农耕地的 11.37 倍, 渗透深度为 10.59 倍。退耕还林后土壤的渗透性能得到了改善, 提高了土壤的保水性能。

关键词: 退耕还林; 渗透性; 青海大通

中图分类号: S715.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0135-04

Study on Soil Permeability of Converting Cropland to Forest Region in Datong County of Qinghai Province

LV Fen-tao¹, GAO Guo-xiong^{1,2}, WANG Rong-xiu³, WU Ha-xia⁴, ZHOU Xin-cheng¹

(1. College of Soil and Water Conservation, BFU, Key Laboratory of Soil and Water

Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing 100083, China;

2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Datong Experimental Forest Farm of Qinghai;

4. Institute of Inner Mongolia Hydraulic Research, Huhhot 010020, China)

Abstract: Soil permeability is one of the important physical properties of soil and important component of the ecological benefits. With the help of double-ring infiltrometer, soil permeability in Datong county, Qinghai Province is dealt with. The results show that just as the following. As time lasts, the total porosity of soil, bulk density of soil, moisture content and soil final infiltration rate of CCFG have crescent trend; The process of soil permeability has obvious power function connection. Its first infiltration rate is remarkably quick. Then as time goes by, it reduces gradually until reaches the final infiltration rate. There are obvious permeability differences in different age of converting cropland to forest, the most infiltration rate of soil of CCFG is 11.37 times of cropland, the infiltration deepness is 10.59 times of cropland in the same quantity of infiltration water. It shows the function of converting croplands to forest in improving permeability and water binding capacity of soil.

Key words: converting cropland to forest; soil permeability; Datong county in Qinghai Province

黄土高原是我国也是世界上水土流失最严重的地区, 由于长期不合理的开发以及过度的垦殖, 造成了黄土高原水土流失严重, 生态环境恶化。而大通县隶属青海省西宁市, 地处黄土高原的最西端。于 2000 年大通县被列为全国 193 个退耕还林还草县之一, 而且还作为 6 个科技试验县之一。渗透性是反映土壤侵蚀能力的重要指标, 为此, 近年来许多专家建议将“增加土壤入渗、就地拦蓄降雨径流”作为防治土壤侵蚀的战略决策^[1,2]。土壤入渗是指降雨落到地面上的雨水从土壤表面渗入土壤形成土壤水的过程, 入渗水在土层中的移动即称为渗透^[2,3]。影响土壤入渗的因素很多, 本文主要探讨土壤的物理性状与入渗的关系, 以及不同退耕年限土壤

的渗透性能, 以期今后在这方面的深入研究提供一些有价值的信息。

1 研究方法

1.1 试验地基本情况

1.2 试验方法

测定土壤渗吸性能的方法很多, 如双环渗透仪法、Guelph 渗透仪法、人工模拟降雨法、土柱法、钻孔法、稳定通量法以及渗透筒法等, 但目前最常用的是双环渗透仪法, 本试验也选用该方法。其中自制双环仪的内环直径 20 cm, 外环直径 30 cm, 高 35 cm。渗透面设在表层(0 cm)处, 通过

* 收稿日期: 2006-05-09

基金项目: “十五”国家科技攻关项目(2001BA510B01)

作者简介: 吕粉桃(1978-), 女, 博士生, 从事生态环境工程研究。

野外人力取水以解决用水问题而进行渗吸性能测定。

2 结果与分析

2.1 不同退耕年限土壤的物理性状与土壤入渗的关系

不同退耕年限所具有的渗透性能受土壤的理化性质影响较大,在影响土壤入渗能力的因素中,主要表现是土壤容

重和孔隙度。土壤的孔隙度大,土壤结构良好,质地疏松,降雨后,把大量的地表径流变成缓慢流动的土壤径流^[4],渗透到土壤中的水分绝大部分因重力作用经过非毛管孔隙下渗到土壤下层。林分能有效地影响土壤的物理性状,改善土壤结构,增加土壤的非毛管孔隙度^[5],提高土壤的入渗性能,从而提高土壤的蓄水量,很好的起到蓄水作用。

表 1 试验地基本情况

标准地编号	优势植物	退耕年限/ a	经度	纬度	海拔/ m	坡向	坡度/ °	坡位	立地条件类型
QH030724002	油菜	对照(0)	E 10° 35′ 13″	N36° 52′ 14″	2890	S30° W	22	中下	低位脑山阳坡
QH030720001	川赤芍	5	E10° 38′	N36° 52′	2800	S45° E	20	下	低位脑山阳坡
QH030811002	青杨+ 白桦	10	E10° 35′ 13″	N36° 52′ 14″	2932	N60° W	15	中	低位脑山阴缓斜坡
QH030722001	云杉	15	E10° 35′ 13″	N36° 52′ 14″	2903	S33° W	12	下	低位脑山阴缓斜坡
QH030719002	华北落叶松	20	E10° 37′	N36° 53′	2945	W	25	中	低位脑山阳坡
QH030811001	白桦+ 云杉	25	E10° 35′ 13″	N36° 52′ 14″	2940	N	15	中	低位脑山阴缓斜坡
QH030802001	云杉+ 白桦	30	E10° 35′ 13″	N36° 52′ 14″	2930	N12° W	11	中	低位脑山阴缓斜坡

表 2 不同退耕年限土壤物理性状与渗透速率

退耕年限/ a	土壤层次/ cm	容重/ (g · cm ⁻³)	总孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	毛管孔隙/ 非毛管孔隙	最大持水量/ %	毛管持水量/ %	最小持水量/ %	稳渗速率/ (mm · min ⁻¹)
0	0~ 20	1. 345	0. 46	37. 98	7. 73	4. 913	0. 354	29. 43	26. 05	1. 5
	20~ 40	1. 039	0. 56	49. 51	6. 85	7. 228	0. 437	38. 35	35. 88	
5	0~ 20	1. 347	0. 57	53. 14	3. 81	13. 948	0. 549	51. 25	41. 84	6. 6
	20~ 40	1. 156	0. 40	37. 35	3. 14	11. 895	0. 343	31. 6	14. 66	
10	0~ 20	1. 082	0. 43	35. 95	6. 57	5. 472	0. 340	28. 75	25. 59	4. 5
	20~ 40	1. 378	0. 42	36. 11	5. 83	6. 194	0. 319	27. 49	24. 53	
15	0~ 20	1. 233	0. 44	38. 93	4. 72	8. 248	0. 342	30. 47	23. 26	5. 3
	20~ 40	1. 149	0. 63	60. 26	2. 78	21. 676	0. 633	60. 53	51. 94	
20	0~ 20	1. 304	0. 55	49. 9	5. 54	9. 007	0. 501	45. 06	38. 94	18. 6
	20~ 40	1. 182	0. 28	24. 27	4. 03	6. 022	0. 214	18. 37	12. 93	
25	0~ 20	1. 371	0. 56	50. 86	4. 7	10. 821	0. 504	46. 16	41. 89	3. 6
	20~ 40	1. 167	0. 54	52. 43	1. 74	30. 132	0. 478	46. 29	35. 66	
30	0~ 20	1. 333	0. 38	33. 75	4. 74	7. 120	0. 344	30. 16	16. 96	6. 4
	20~ 40	1. 338	0. 47	45. 04	1. 68	26. 810	0. 364	35. 11	29. 62	

由表 2 可以看见,不同退耕年限的总孔隙度大小顺序基本随着退耕年限的延长而增大,对照和退耕 5 年的总孔隙度较大可能与人为耕作等因素有关。土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、毛管孔隙/ 非毛管孔隙、最大持水量、毛管持水量、最小持水量、稳渗速率随着退耕年限的延长其变化规律与之一致。

2.2 土壤的渗透性能

土壤的渗透性能与土壤的容重和孔隙状况密切相关,其中非毛管孔隙度的大小是影响土壤渗透性能的重要指标,因为非毛管孔隙能够很快排空,并源源不断地接受地表水分,使地表径流转变为地下径流或下部土壤贮水。从表 3 看出,不同退耕年限土壤的渗透性能存在差异,同样渗水量退耕还林(华北落叶松)20 年的土壤渗透深度最大,达 540 mm,所用时间 31. 67 min 左右,且渗透速度最快 17. 05 mm/min; 渗透最慢的耕地(油菜)仅 1. 5 mm/min,且渗透深度为 51 mm,渗透深度最小。其余植被的土壤渗透速率和渗透深度介于二者之间。说明退耕还林使土壤物理性质发生变化,由于植物根系的作用使土壤水稳性团聚体的形成、土壤孔隙度和土壤有机质含量等土壤理化特性不断改善。土壤沙砾和石砾相对减少,分散率降低,团聚度提高,土壤有机质含量提高,水稳性团聚体数量增加,结构体破坏率降低,土壤孔隙度增大,持水量增加,渗透性增强。

表 3 不同退耕年限土壤的渗透性变化

退耕年限/ a	优势植物	渗水量/ ml	下降深度/ mm	渗透时间/ min	稳渗速率/ (mm · min ⁻¹)
0	油菜	400	51	33. 5	1. 5
5	川赤芍	400	252	38	6. 6
10	青杨+ 白桦	400	145	32. 5	4. 5
15	云杉	400	210	40	5. 3
20	华北落叶松	400	540	31. 67	18. 6
25	白桦+ 云杉	400	122	33. 5	3. 6
30	云杉+ 白桦	400	163	25. 3	6. 4

2.3 不同退耕年限土壤的入渗特征与渗透速率

在本试验条件下,不同退耕年限土壤的入渗特性有较大差异(见表 4)。就入渗率而言,退耕还林(华北落叶松)20 年的最初入渗率(开始 2 min 平均入渗率)最大。尔后,农耕地的土壤入渗率迅速下降,入渗 10 min 时,降幅为 79. 83%。入渗 10~ 20 min 期间,不同退耕年限土壤入渗率约下降了 25 %。

通常,在相同的土壤和供水情况下,最初入渗率主要由土壤湿润程度决定,如果开始入渗时土壤较为湿润,在湿润前锋的吸力梯度小,最初入渗速率较低,随后入渗速率降低也较缓慢。如开始入渗的土壤干燥,吸力梯度大,则最初入渗速率较高,以后随时间延长入渗速率降低也快。从表 4 可知,退耕 15 年土壤的初始含水量较高,所以其最初入渗速率

较低。此外,由于该地表面有一层较细较干的有机物,透水性较差,影响最初入渗,导致最初入渗速率偏低。

随着入渗的进行,农耕地最先接近稳定入渗(见图 1~7),至 20 min 时,不同退耕年限土壤基本达到稳定入渗。

土壤吸水率是基质势的反映,基质吸力是由于水对土壤颗粒表面和毛管孔隙的物理亲和形成的。有效孔径与土壤水吸力呈反比,孔隙愈小则土壤水吸力愈大。

表 4 不同退耕年限土壤的入渗特征		mm/min						
退耕年限(年)		0	5	10	15	20	25	30
开始 2 min 平均入渗率		23.3	16.0	13.6	6.3	64.7	18.5	30.4
开始 10 min 平均入渗率		4.7	10.9	6.7	5.5	39.1	7.1	9.7
开始 30 min 平均入渗率		2.4	7.9	5.0	5.3	24.4	4.6	7.2
稳定入渗率		1.5	6.6	4.5	5.3	18.6	3.6	6.4

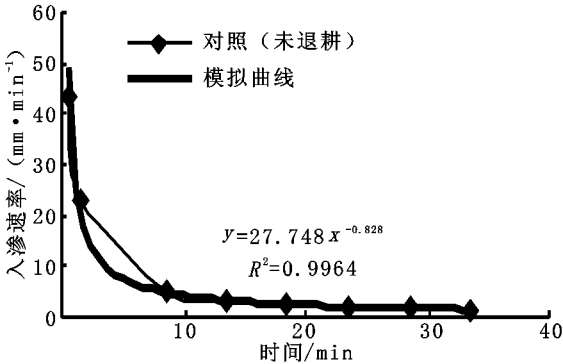


图 1 对照土壤入渗率与时间的关系

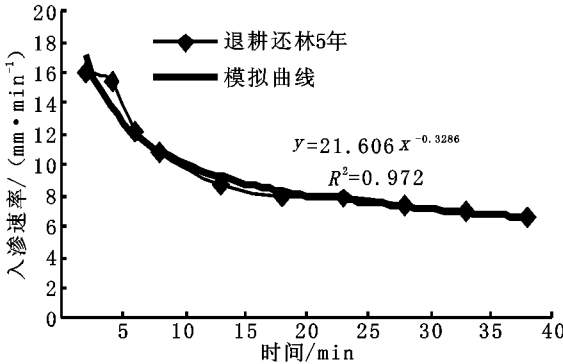


图 2 退耕 5 年土壤入渗率与时间的关系

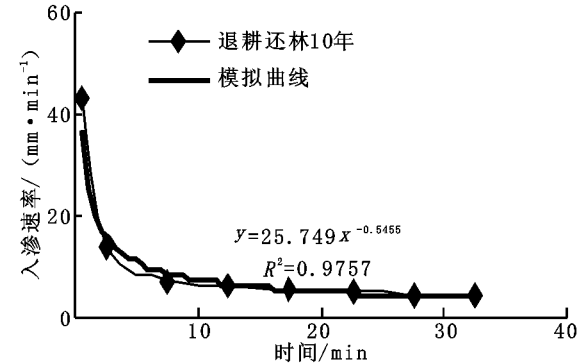


图 3 退耕 10 年土壤入渗率与时间的关系

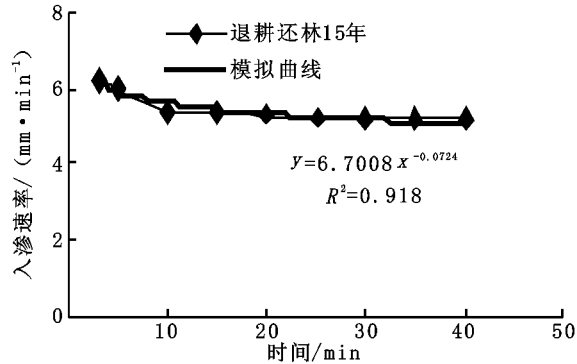


图 4 退耕 15 年土壤入渗率与时间的关系

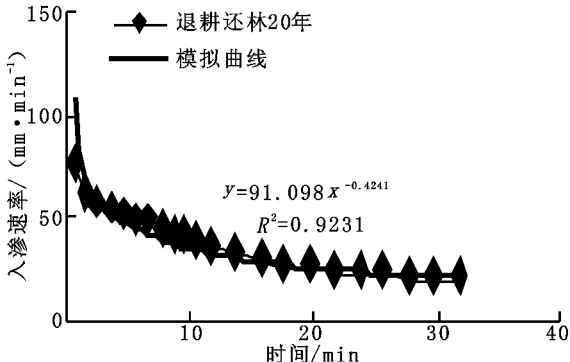


图 5 退耕 20 年土壤入渗率与时间的关系

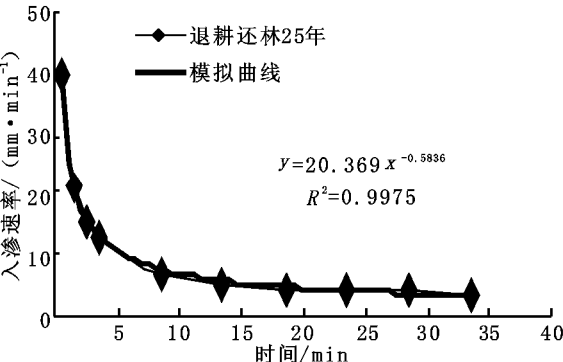


图 6 退耕 25 年土壤入渗率与时间的关系

对入渗过程的拟合结果表明,不同退耕还林土壤入渗率随时间的变化具有明显的幂函数关系,其相关系数 r 均达到极显著水平(表 5)。

表 5 剖面控制阶段土壤的渗透速度方程

退耕年限/a	渗透速度	样本 n	相关系数 r
0	$i = 27.74t_i^{-0.828}$	8	0.9964***
5	$i = 21.606t_i^{-0.3286}$	10	0.9720***
10	$i = 25.749t_i^{-0.5455}$	8	0.9757***
15	$i = 6.7008t_i^{-0.0724}$	9	0.9180***
20	$i = 91.098t_i^{-0.4241}$	22	0.9231***
25	$i = 26.326t_i^{-0.5836}$	10	0.9975***
30	$i = 51.022t_i^{-0.6795}$	10	0.9884***

△*** 表示达到 99 的显著水平

降雨和淹水条件下土壤入渗过程不完全相同。降雨时

土壤入渗过程可用图^[6]说明。土壤入渗可分为三个阶段。第一阶段是土表湿润阶段,全部降雨渗入土壤,无径流产生。土壤的渗透速率 i 等于降雨强度 I ,为通量控制阶段^[5]。土表饱和后进入第二阶段,这时渗透速度随时间按指数规律减小,土表开始积水并发生径流,径流随时间逐渐加快。经过比较长的时间后,进入第三阶段,这时渗透速率又趋于稳定,即等于或接近于饱和和水力传导度。渗透的第二、三阶段为剖面控制阶段,渗透速率由土壤性质决定。通量控制和剖面控制土壤的入渗速率:

$$i = \begin{cases} I, & \text{通量控制阶段, 即 } t < t_1 \text{ 时} \\ at_i^{-b}, & \text{剖面控制阶段, 即 } t > t_1 \text{ 时} \end{cases}$$

式中: i ——土壤渗透速率(mm/min), I ——平均降雨强度

(mm/min), t ——降雨历时 (min), t_1 ——通量控制时间 (min), t_i ——剖面控制时间 (min), a, b ——常数。

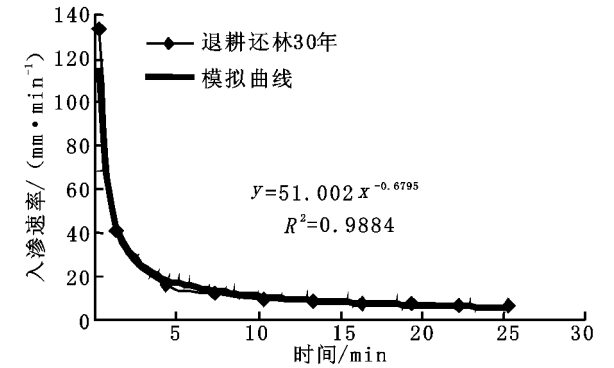


图 7 退耕 30 年土壤入渗率与时间的关系

根据剖面控制阶段计算的土壤渗透速率拟合的渗透方程及渗透速率和时间的相关系数 r 列于表 5。渗透方程中常数 a 表征通量控制时间, a 值越大, 表示通量控制时间越长。退耕 20, 30 年的土壤 a 值较大, 而退耕 15 年的土壤 a 值较小。 a 值的大小与实测的开始产流时间 t_i 基本吻合。常数 b 表征入渗曲线下降的快慢程度, b 值越大, 渗透速度下降越快。 农耕地的 b 值较大, 为 0.828; 其余由大到小依次为退耕还林 30 年(0.679 5)、25 年(0.583 6)、10 年(0.545 5)、20 年(0.424 1)、5 年(0.328 6)、15 年(0.072 4)。

3 讨论与结论

- (1) 林分能有效地影响土壤的物理性状, 改善土壤结构, 增加土壤的非毛管孔隙度, 提高土壤的入渗性能。
- 试验研究表明, 不同退耕年限土壤的物理性状如总孔隙度、土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、毛管孔隙/非毛管孔隙、最大持水量、毛管持水量、最小持水量与土壤的稳渗速率随着退耕年限的延长而逐渐增大。
- (2) 不同退耕年限土壤的渗透性能存在差异, 同样渗水量退耕还林(华北落叶松) 20 年的土壤渗透深度最大, 达 540

参考文献:

[1] 朱显谟. 再论黄土高原国土整治“28 字方略”[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 4– 11.

[2] 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.

[3] 侯喜禄, 白岗栓, 等. 刺槐、柠条、沙棘林土壤入渗及抗冲性对比试验[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 90– 95.

[4] 杨吉华, 张永涛, 高祥伟, 等. 封山育林提高森林蓄水保土效益的研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3): 2– 5.

[5] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.

[6] 吕喜玺, 等. 用人工模拟降雨研究南方低丘土壤的渗透[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 2– 8.

[7] 于东升, 史学正. 用 Guelph 法研究南方低丘缓坡地不同坡位土壤渗透性[J]. 水土保持通报, 2002, 22(1): 6– 9.

[8] 王国梁, 刘国彬, 周生路. 黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 529– 535.

[9] 卞相玲, 等. 几种林分土壤入渗性能的研究[J]. 山东林业科技, 2003, (6): 15– 16.

(上接第 134 页)

保持规划的指导思想, 而对于新疆而言, “以水定地”也是水土保持生物措施布局的一个重要原则^[6]。新疆气候条件差, 酷暑严寒, 许多优良的经济树种草种在一般年份可以正常生长, 但在特别寒冷年份, 会受到毁灭性的冻伤, 在选择经济林

参考文献:

[1] 李卫红, 等. 天山头屯河水沙情势变化分析[J]. 干旱区地理, 1994, 8(2): 12– 16.

[2] 张开采. 头屯河水库的泥沙淤积问题[J]. 新疆水利, 1989, 5(4): 21– 25.

[3] 陈利华. 影响土壤侵蚀因子分析[J]. 水土保持科技情报, 1987, 1(3): 28– 30.

[4] 谈明洪, 王军艳. 关于水土流失的几个问题[J]. 国土与自然资源研究, 2001, 8(3): 32– 44.

[5] 中国科学院新疆地理研究所. 天山山体演化[M]. 北京: 科学出版社, 1986.

[6] 杨艳生. 数值分析和土壤侵蚀研究[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.

mm, 所用时间 31.67 min 左右, 且渗透速度最快 17.05 mm/min; 渗透最慢的耕地(油菜)仅 1.5 mm/min, 且渗透深度为 51 mm, 渗透深度最小。其余植被的土壤渗透速率和渗透深度介于二者之间。说明退耕还林使土壤物理性质发生变化, 由于植物根系的作用使土壤水稳性团聚体的形成、土壤孔隙度和土壤有机质含量等土壤理化特性不断改善。土壤沙砾和石砾相对减少, 分散率降低, 团聚度提高, 土壤有机质含量提高, 水稳性团聚体数量增加, 结构体破坏率降低, 土壤孔隙度增大, 持水量增加, 渗透性增强。

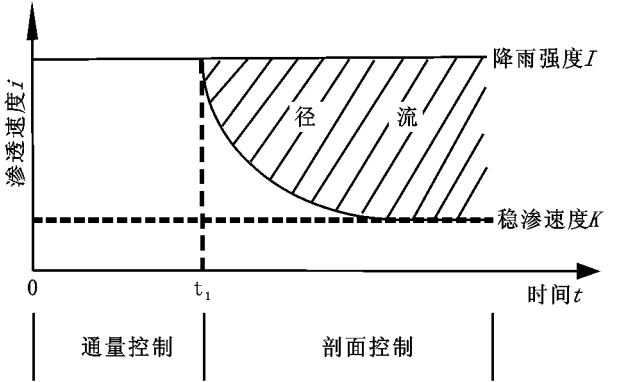


图 8 入渗速率与时间的关系

(3) 不同退耕年限土壤的入渗特征与渗透速率。在本试验条件下, 不同退耕年限土壤的入渗特性有较大差异。就入渗率而言, 退耕还林(华北落叶松) 20 年的最初入渗率(前 2 min 内平均入渗率)间最大。随着入渗的进行, 由于犁底层土壤较紧实, 农耕地的土壤入渗率迅速下降, 入渗 10 min 时, 降幅为 79.83%。且农耕地较早达到稳定入渗。说明退耕还林后土壤的渗透性能得到了改善, 从而提高了土壤的保水性能。入渗 10~ 20 min 期间, 不同退耕年限土壤入渗率约下降了 25 %。至 20 min 时, 不同退耕年限土壤基本达到稳定入渗。对入渗过程的拟合结果表明, 不同退耕还林土壤入渗率随时间的变化具有明显的幂函数关系。

树种或农民承包荒山中, 应当特别注意这些问题。河流附近工矿矿业比较发达的水土保持工作, 不能仅看经济效益, 更应强调生态效益和环境效益。