

甘肃西峰南小河沟流域土壤入渗分布规律研究^{*}

李亚娟¹, 宋孝玉^{1,2}, 李怀有³, 蒋俊¹, 云殿智³

(1 西安理工大学 水资源研究所, 陕西 西安 710048;

2 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

3 黄河水利委员会 西峰水土保持科学试验站, 甘肃 西峰 745000)

[摘要] 通过野外积水入渗试验, 探讨了不同地貌(塬、坡、沟)和不同土地利用类型(大豆地、麦茬地、玉米地、刺槐地、油松林地等)对土壤入渗特性的影响, 并采用3种入渗公式对不同地貌特征与不同土地利用条件下土壤入渗的变化规律进行了拟合。结果表明, 塬面和阴坡上用考斯加可夫公式能较好地反映土壤入渗规律。前30 min的累积入渗量以塬面水平梯田大豆地最小, 为32.061 mm; 以塬面坡耕麦茬地最大, 为230.488 mm。入渗速率以塬面麦茬地最大, 为4.245 mm/min, 以塬面水平梯田大豆地最小, 为0.239 mm/min。不同坡向的入渗率均表现为阴坡大于阳坡。

[关键词] 土壤入渗规律; 地貌特征; 土地利用类型; 南小河沟流域

[中图分类号] S152.7+2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)12-0147-05

水土流失是土地资源破坏的重要形式之一, 它不仅导致土壤肥力下降, 而且对下游造成了极为严重的环境污染^[1]。近年来, 由于自然环境条件的影响, 甘肃省南小河沟流域水土流失非常严重, 对当地资源环境造成很大危害, 虽然很多学者对该地区水土流失规律, 如塬、坡、沟未治理状况下的水土流失特点^[2]、降雨产流产沙^[3]、林木固沟减蚀^[4-5]等进行了研究, 但目前尚未见有关该流域土壤入渗特性的报道。由于研究该地区不同地貌和不同土地利用条件下的土壤入渗性能, 对于研究降水入渗产流、土壤侵蚀、洪水预报和不同水土保持措施下的作物优化配置等均具有十分重要的意义。因此, 本文对该地区土壤入渗性能进行了研究, 现将研究结果报道如下。

1 研究区概况

南小河沟流域位于甘肃省西峰市境内, 系泾河水系的一级支流。地理位置为东经107°30′~107°37′, 北纬37°41′~35°44′。流域总面积36.30 km², 其中水土流失面积14.32 km², 该流域形状系数为0.25。流域总长度13.6 km, 平均宽度3.4 km。海拔高度为1 050~1 423 m, 相对高差373 m。流域主要由塬、坡、沟三大地貌组成。沟谷占流域总面积的27.44%, 坡度多

大于25°; 主沟道长17.7 km, 沟壑密度2.68 km/km², 沟道平均比降2.8%。坡面占总流域的15.7%, 坡度多在7°~25°; 塬面占流域总面积的56.86%, 坡度多小于5°; 具有典型的黄土高原沟壑区地貌特征。

流域内年平均降水量552.1 mm, 最大降水为802.5 mm(1964年), 最小降水量为327.6 mm(1979年)。降水年际变化大, 年内分配不均匀, 具有明显的丰、平、枯水年特征。年内7~9月降水量占全年降水量的63.0%。年平均气温8.7℃, 年均积温2 700~3 300℃, 年均日照时数2 454.1 h, 无霜期156 d, 蒸发量1 474.6 mm, 干燥度1.6。

2 研究方法

针对不同地貌(塬、坡、沟)及不同土地利用类型(大豆地、麦茬地、玉米地、刺槐地、油松林地等)设计24组积水入渗试验, 其中具有代表性的有17组(见表1)。入渗前的土壤含水率(入渗前的土壤含水率为自然降雨状态下经土壤蒸发或植被蒸腾作用所形成, 无人工补水)采用烘干法测定, 土壤容重采用挖剖面取原状土的方法测定, 野外入渗过程(试验时外环由土埂代替)采用双环法测定。野外入渗仪为西安理工大学改进的野外入渗试验装置, 其结构和布置

^{*} [收稿日期] 2006-03-13

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50209016); 陕西省自然科学基金项目(2003D13); 陕西省教育厅重点实验室项目(04JS15); 西北农林科技大学高级访问学者项目

[作者简介] 李亚娟(1980-), 女, 河北邢台人, 在读硕士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: liyajuan2010@163.com

方法见文献[6]。

表 1 甘肃西峰南小河流域土壤入渗试验设计

Table 1 Experimental design of soil infiltration at Nanxiaohegou basin in Xifeng of Gansu

试验序号 Experiment number	地貌类型 Topographic condition	地类 Land type	土地利用类型 Land-use type	试验序号 Experiment number	地貌类型 Topographic condition	地类 Land type	土地利用类型 Land-use type
1	塬面 Plateau fom	水平梯田 Bench terrace	大豆地 Soybean field	10	阳坡 Sunny slope	坡 Slope	荒草地 Weed field
2	塬面 Plateau fom	坡耕地 hillside cultivated	麦茬地 W heat stubble field	11	阴坡 Shady slope	坡 Slope	油松林 Pintch pine field
3	塬面 Plateau fom	水平梯田 Bench terrace	玉米地 Corn field	12	阴坡 Shady slope	坡 Slope	沙棘林 Seabuck thorn field
4	塬面 Plateau fom	水平梯田 Bench terrace	苹果地 Apple field	13	阴坡 Shady slope	坡 Slope	荒草地 Weed field
5	阳坡 Sunny slope	坡 Slope	刺槐地 A cacia field	14	沟道 Trench	沟台地 High terrace	荒草地 Weed field
6	阳坡 Sunny slope	坡 Slope	侧柏林 A rborvitae field	15	沟道 Trench	沟道 Trench	坝地 Low flat
7	阳坡 Sunny Slope	坡 Slope	杏树林 A mond field	16	沟道 Trench	有水沟道 Trench with water	荒草地 Weed field
8	阳坡 Sunny slope	坡 Slope	苹果地 Apple field	17	沟道 Trench	干沟道 Trench without water	荒草地 Weed field
9	阳坡 Sunny slope	坡 Slope	苜蓿地 Pup le medic filed				

3 流域土壤入渗性能分析

3.1 土壤水分入渗的拟合

为了分析流域土壤入渗分布规律,在流域不同断面(上、中、下)和不同坡向(阳坡和阴坡)的不同位置^[7-8],针对不同土地利用类型和植被条件(耕地、林地、荒地等)进行了24组试验,对其中的17组试验(表1)数据用如下3种入渗经验公式进行拟合。

考斯加可夫(Koctakob)公式:

$$f(t)=at^{-b} \tag{1}$$

式中, $f(t)$ 为入渗速率(mm/min); t 为入渗时间(min); a 、 b 为经验参数。

霍顿(Horton)公式:

$$f(t)=f_c+(f_0-f_c)e^{-kt} \tag{2}$$

式中, f_0 和 f_c 分别为初渗率和稳渗率; k 为经验参数; t 为入渗时间(min)。

通用经验公式:

$$f(t)=a_1+b_1t^{-n} \tag{3}$$

式中, a_1 、 b_1 和 n 均为经验参数; t 为入渗时间(min)。

3.2 流域土壤的入渗特性分析

用以上3种入渗公式进行回归分析,结果见表2(限于篇幅,仅列出参数有最大值和最小值的试验结果)。由表2可以看出,用考斯加可夫公式拟合时的 a 值为3 275~18 193,其与初始含水率和土壤容重有关,最小值出现在阳坡杏树林地,最大值出现在阴坡沙棘林; b 值为0 091~0 637,其反映了入渗率递减

状况, b 值越大,入渗率随时间减小越快,因此塬面大豆地入渗率递减最快,阳坡侧柏林地入渗率递减最慢。用霍顿公式拟合时, f_0 ~ f_c 变化范围为0 522~7 476 mm/min,以坡耕麦茬地的初渗率最大,阳坡杏树林的初渗率最小; f_c 为0 239~4 245 mm/min,其最小值出现在塬面水平梯田大豆地,最大值出现在塬面坡耕地麦茬地; k 值变化范围为0 016~0 042,最小值在阳坡苜蓿地,最大值在塬面大豆地,表明塬面大豆地入渗速率递减最快。通用经验公式中的 a_1 实质上相当于稳渗率,表现为塬面大豆地最小,坡耕麦茬地最大; b_1 为4 863~347 165,最小值出现在阳坡苜蓿地,最大值出现在阴坡沙棘林地; n 为0 702~1 688,最小值出现在阳坡苜蓿地,最大值出现在阴坡沙棘林地。

本研究试验前土壤的初始含水量、容重,10 min末入渗率,达到稳渗的时间及前30 min的累积量入渗量见表3。从表3可以看出,10 min末的土壤入渗率为0 664~8 894 mm/min,最高值出现在塬面坡耕麦茬地,最低值出现在塬面水平梯田大豆地。前30 min的累积入渗量为32 061~230 49 mm,最小值出现在塬面水平梯田大豆地,最大值仍出现在塬面麦茬地,这是土壤的初始含水率、土壤结构、植被状况、水土保持措施、地貌等因素综合影响的结果^[7-8]。根据对试验资料的分析和国内外学者的现有研究成果^[9-12]可知,前30 min的入渗变化最为强烈,而入渗30 min以后的变化趋于平缓。

表2 3种入渗经验公式中参数的回归结果

试验序号 Experiment number	考斯加可夫公式 Koxtakob equation			霍顿公式 Horton equation				通用经验公式 Experimental equation			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>f_c</i>	<i>f₀ - f_c</i>	<i>k</i>	<i>R</i>	<i>a</i> ₁	<i>b</i> ₁	<i>n</i>	<i>R</i>
1	3 871	0 637	0 890 1	0 239	1 395	0 042	0 904 0	0 239	25 977	1 661	0 909 5
2	13 879	0 192	0 931 1	4 245	7 476	0 020	0 820 1	4 245	44 768	0 855	0 646 5
3	14 562	0 371	0 933 4	2 321	4 058	0 029	0 834 8	2 321	127 689	1 420	0 835 6
6	3 756	0 091	0 908 9	2 452	0 915	0 036	0 893 8	2 452	6 039	1 047	0 780 0
7	3 275	0 170	0 855 1	1 455	0 522	0 020	0 806 2	1 455	11 568	1 181	0 871 9
9	4 852	0 115	0 906 8	2 655	1 406	0 016	0 926 4	2 655	4 863	0 702	0 908 8
12	18 193	0 516	0 977 4	1 375	7 283	0 040	0 919 2	1 375	347 165	1 688	0 801 9

注: *R* 为相关系数。
Note: *R* is correlation coefficient

表3 甘肃西峰南小河沟流域土壤容重、初始含水率及入渗特征分布规律

Table 3 Soil bulk density initial soil water moisture content and soil infiltration parameters
at Nanxiaohegou basin in Xifeng of Gansu

试验序号 Test No	土壤容重/ (g · cm ⁻³) Bulk density			土壤初始含水率/% Initial soil water moisture content							10 m in 未入渗速率/ (mm · min ⁻¹) 10 m in un-in- filtration rate	稳渗速率 <i>F_c</i> / (mm · min ⁻¹) Stable infiltration rate	达稳渗的 时间/ <i>t_s</i> in Stable infiltration time	前 30 m in 累积入渗量/ mm 30 m in accumulated infiltration
	0~ 20 cm	40~ 60 cm	表面 Surface layer	10 cm	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	平均 Average				
1	1 645	1 636	13 8	16 75	16 52	15 69	17 54	19 4	-	16 55				
2	1 476	1 482	11 5	15 84	15 89	15 67	17 62	18 2	17 45	16 48				
3	1 483	1 368	13 7	14 04	13 31	12 68	14 15	14 9	-	13 55				
4	1 632	1 966	18 5	13 28	11 9	8 74	12 9	13 2	-	12 72				
5	1 274	1 234	17 4	10 77	9 34	9 47	10 95	11 3	9 18	11 02				
7	1 285	1 288	8 07	8 6	8 18	8 63	10 83	11 2	-	9 46				
8	1 317	1 436	10 6	10 8	8 98	9 64	10 91	11 5	12	10 61				
10	1 123	1 512	8 01	7 88	8 29	10 56	12 28	13 1	13 7	11 09				

为了明确上述3种入渗公式对实测入渗速率的拟合情况,分别用考斯加可夫公式、通用经验公式和Horton公式计算塬面苹果园和坡面油松林地的入渗速率,并结合不同时间的实测入渗速率绘制入渗曲线,结果见图1。由图1可以看出,在入渗瞬变阶段(0~10 min),考斯加可夫公式的拟合点与实测点配

合最好;在入渗渐变阶段(10~70 min),考斯加可夫公式和通用经验公式的拟合点与实测点配合均较好;而在入渗稳渗阶段,通用经验公式和Horton公式的拟合点与实测点拟合程度较为接近。从总体上来看,塬面和阴坡用考斯加可夫公式拟合效果最好。

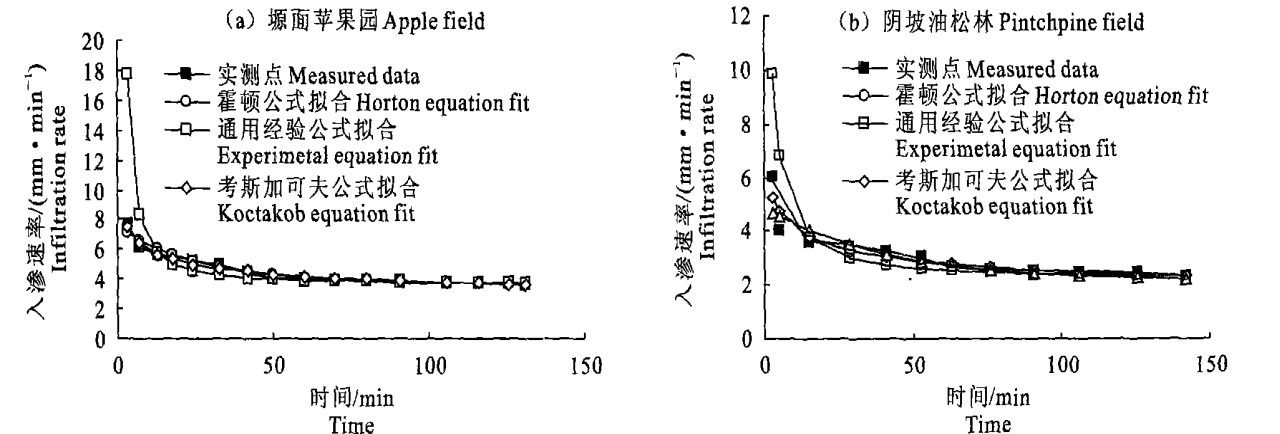


图1 3种入渗经验公式对甘肃西峰南小河沟流域土壤实测入渗速率的拟合结果

Fig 1 Comparison of infiltration rate estimated by three empirical equations and the measured data at Nanxiaohegou basin in Xifeng of Gansu

4 土地利用因素和地貌特征对土壤入渗性能的影响

4.1 土地利用因素

南小河流域同一塬面上 4 种不同土地利用类型的土壤入渗速率与时间的关系曲线如图 2(a) 所示。从图 2(a) 可以看出, 入渗速率表现为塬面麦茬地 > 塬面苹果园地 > 塬面玉米地 > 塬面大豆地。塬面大豆地的初始入渗速率较其他 3 种土地利用类型小得多, 稳定入渗速率也小得多, 从而累积入渗量也较

其他三者小得多, 其原因可能是大豆地的土壤容重和初始含水率较大所致。塬面玉米地的初渗率、稳渗率和累积入渗量较塬面大豆地大, 主要是由于塬面玉米地土壤结构好, 土壤容重较小, 且试验恰逢玉米生长期, 蒸腾消耗水量大, 初始含水率较低, 因此初渗率、稳渗率和累积入渗量均较大。塬面苹果园地由于蒸腾蒸发作用, 其耗水量较大, 初始含水率较小, 所以其初渗率和稳渗率较大。塬面麦茬地由于其容重较小, 土壤孔隙率大, 土壤通透性好, 所以初渗率、稳渗率均较大。

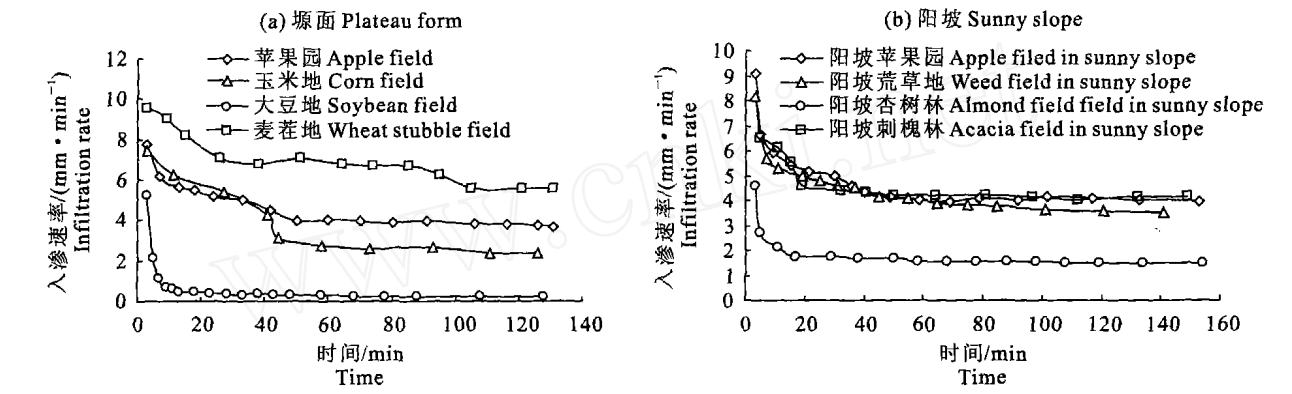


图 2 甘肃西峰南小河流域不同利用类型土壤入渗速率的比较

Fig. 2 Infiltration rate curve of different land-use types at N anxiaohegou basin in Xifeng of Gansu

阳坡 4 种不同土地利用类型下土壤入渗速率与时间的关系见图 2(b)。由图 2(b) 可以看出, 杏树林的初渗率、稳渗率和累积入渗量较其他 3 种土地利用类型小得多, 这是由于杏树林土壤容重较大, 土壤结构和其他 3 种土地利用类型不同。刺槐林和苹果园的稳渗率均较大, 这是因为苹果树、刺槐的蒸腾消耗量大, 含水率小。荒草地的初渗率和稳渗率均较大, 这是由其表层的容重较小所致。

4.2 地貌特征

试验结果表明, 不同坡向的入渗特性有较大的

差异, 阳坡的初渗率略大于阴坡, 但随入渗时间的延长, 阳坡的入渗速率下降较快, 在入渗开始的前 10 min, 阳坡的入渗速率一直大于阴坡(图 3)。但从表 4 可知, 地表 0~20 cm 土层容重阳坡大于阴坡, 而阳坡不同深度的土壤含水率明显小于阴坡。分析其地表土壤的结构状况可知, 阴坡的植被盖度较阳坡大, 落叶后形成的腐殖层更有利于降水的入渗; 而阳坡的植被盖度小, 雨滴打击地表, 形成了地表“结皮”层对降水的入渗有一定的阻碍作用, 所以阴坡的入渗性能较阳坡好。

表 4 不同坡向土壤容重和入渗前土壤含水率的分布

Table 4 Soil density and moisture content distribution of different slope directions

坡向 Slope direction	0~20 cm 土层容重/ (g · cm ⁻³) Bulk density in depth of 0-20 cm	土壤含水率/% Soil moisture content at different depths					稳渗率/ (mm · min ⁻¹) Stable infiltration rate	前 30 min 累积 入渗量/mm 30 min in accumulated infiltration
		10 cm	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm		
阳坡 Sunny slope	1.605	15.3	16.35	14.68	15.71	14.5	1.642	108.300
阴坡 Shady slope	1.438	30.27	30.28	25.9	26.11	26.79	2.350	162.710

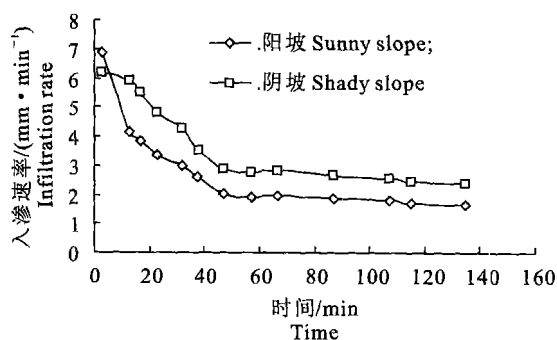


图3 甘肃西峰南小河流域不同坡向入渗速率的比较

Fig 3 Comparison of infiltration rates of different slope directions at Nanxiaohegou basin in Xifeng of Gansu

5 结 论

(1) 本研究结果表明, 对入渗速率, 在入渗的瞬变阶段(0~ 10 min), 考斯加可夫公式的拟合效果最好; 在入渗渐变阶段(10~ 70 min), 考斯加可夫公式和通用经验公式的拟合效果好; 而在入渗稳渗阶段,

通用经验公式和Horton 公式拟合效果较好。总体上看, 在塬面和阴坡上宜用考斯加可夫公式进行拟合。

(2) 南小河流域入渗开始 10 min 末的入渗速率为 0.664~ 8.894 mm/min, 平均为 2.866 mm/min, 最大值是最小值的 13.39 倍, 最小值出现在塬面大豆地, 最大值出现在坡耕麦茬地; 稳渗速率在 0.239~ 4.245 mm/min, 平均为 1.745 mm/min, 最大值是最小值的 18.51 倍, 最小值出现在塬面水平梯田大豆地, 最大值出现在塬面坡耕麦茬地; 前 30 min 的累积入渗量在 32.061~ 230.49 mm, 平均为 80.06 mm, 最小值在水平梯田大豆地, 最大值仍出现坡耕麦茬地。

(3) 南小河流域入渗性能最好的是塬面坡耕地, 其次是阴坡刺槐林、有水沟道荒草地、阳坡苹果园和塬面苹果地。

(4) 塬面上坡耕地的入渗速率最大, 苹果园次之, 玉米地大于大豆地。不同坡向的入渗率, 阴坡大于阳坡。

[参考文献]

- [1] 黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站. 黄土高原水土流失及其综合治理研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.
- [2] 吴永红, 李 倬, 张信宝, 等. 黄土高原沟壑区谷坡农地侵蚀及产沙的 ^{137}Cs 法研究[J]. 水土保持通报, 1994, 14(4): 16-19.
- [3] 吴永红, 王愿昌, 刘 斌, 等. 黄土坡面的土壤侵蚀波动性[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 28-31.
- [4] 冉大川. 环江流域高含沙洪水特性研究[J]. 流域泥沙, 1994, 12(4): 86-93.
- [5] 李 倬. 论林木的固沟减蚀作用[J]. 泥沙研究, 1994, 3(1): 14-21.
- [6] 王文焰, 张建丰. 田间土壤入渗试验装置的研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(4): 38-44.
- [7] 康绍忠, 张书函, 史世斌, 等. 内蒙古敖包小流域土壤入渗分布规律的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 38-46.
- [8] 刘贤赵, 康绍忠. 黄土高原沟壑区小流域土壤入渗分布规律的研究[J]. 吉林林学院学报, 1997, 13(4): 203-208.
- [9] 陈丽华, 余新晓. 晋西黄土地区水土保持林地土壤入渗性能的研究[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(1): 43-47.
- [10] Brakensied D L, Rawls W J. Infiltration research needs in watershed hydrology[J]. Transactions of The ASAE, 1989, 32: 633-637.
- [11] Dao T H. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57: 1586-1594.
- [12] Edwards W M, Norton L D, Redmond C E. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil[J]. Soil Science Society of America Journal, 1989, 132: 233-239.

(下转第 158 页)

On the disposal of saponin manufacturing wastewater by white rot fungus

L IU J ian-dang, HU Shi-bin, FENG Gui-ying, SHEN Wei-bo, QIN Bao-fu

(College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Through using the cultured and tamed white rot fungus in biodegradable experiments, the technical conditions for the disposal of saponin manufacturing wastewater are studied. The result shows that the white rot fungus is the best in handling the saponin manufacturing wastewater: when KH_2PO_4 10 g/L, MgSO_4 0.05 g/L and ammonium tartrate 2.0 g/L are added into the wastewater under the conditions of pH 5.0, temperature 28 °C, disposal period 4 d, inoculation 150 mL/L and swing bed velocity 120 r/min, the COD_{Cr} removal rate in the saponin wastewater reaches more than 80%, the color removal rate is 10%, and white rot fungus albumen 0.028 2 (dry weight) g/mL can be recovered. It can be concluded that the research is useful for the first and second level disposal of saponin wastewater.

Key words: white rot fungus; wastewater from saponin manufacturing; biodegradation

(上接第 151 页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)12-0147-EA

Research on soil infiltration of Nanxiaohegou basin in Gansu Xifeng

LI Ya-juan¹, SONG Xiao-yu^{1,2}, LI Hua-yu³, JIANG Jun¹, YUN Dian-zhi³

(1 Institute of Water Resources, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Xifeng Experiment Station of Soil and Water Conservation, Yellow River Conservancy Commission, Xifeng, Gansu 745000, China)

Abstract: Effect of landforms and land-use types on the variational law of the infiltration rate was analyzed through infield experiment, and the measured data were fitted by the three soil infiltration equations. Results show that Kozyakov equation fits better in the plateau form and shady slope, the minimum value of the accumulated infiltration initial 30 m in appears in the soybean field of bench terrace and the maximum value in the wheat by reaped field of hillside cultivated; the maximum value of infiltration rate appears in the wheat by reaped field of hillside cultivated and the minimum value in the soybean field; infiltration rate in the shady slope is greater than that in the sunny slope.

Key words: soil infiltration law; feature of landform; land-use type; Nanxiaohegou basin