

黄土丘陵区人工沙棘林水土保持作用机理及效益*

陈云明** 刘国彬 徐炳成

(中国科学院-西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100)

【摘要】 沙棘是我国半干旱地区用于水土保持造林的主要生态-经济型树种,在“三北”地区生态环境建设中发挥重要作用.对野外试验资料分析表明,7~10龄沙棘林冠年平均截留率为8.5%,6~10龄沙棘林地枯落物层单次可截留0.89 mm降水;沙棘林通过改善土壤理化性质,具有提高土壤入渗和抗冲性能作用,其中土壤中毛根数量是决定土壤抗冲能力的主要指标.沙棘林的水土保持作用随林龄变化明显,幼林(2~3龄)阶段的作用很小,降水特性是决定林地产流产沙量的主要因素;成林(4~5龄)阶段,产流产沙量受降水和林分生长的共同影响;成林后(6~12龄)阶段,降水特性的影响很小,林地产流产沙量维持相对稳定,年径流深与侵蚀模数分别为0.3~3.4 mm、0~6.75 t·km⁻².幼林至成林(2~5龄)阶段,径流含沙量急剧减少,成林后(6~12龄)阶段,径流含沙量趋于稳定,含沙量变化在0~5.09 kg·m⁻³.

关键词 人工沙棘林 黄土丘陵区 水土保持作用 机理

文章编号 1001-9332(2005)04-0595-05 **中图分类号** S157.5 **文献标识码** A

Effects of artificial seabuckthorn forest on soil and water conservation in loess hilly region. CHEN Yunming, LIU Guobin, XU Bingcheng (*Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest, Yangling 712100, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(4): 595~599.

Seabuckthorn is regarded as a main eco-economical tree species, and plays an increasing important role in environmental construction in Northwest, Northeast and North China. Our study on artificial seabuckthorn forest in loess hilly region showed that the average rainfall interception rate of 7~10 ages seabuckthorn canopy was 8.5%, and the litter layer of 5~10 ages seabuckthorn forest could intercept 0.89 mm rainfall. Seabuckthorn forest could improve soil infiltration and anti-strike ability through improving soil physical and chemical properties, and the numbers of its hair roots and the depth of its litter layer were the main indices of soil anti-strike ability. The effects of seabuckthorn forest on soil and water conservation increased with its increasing age. In 2~3 ages stage, the effects were weak, and the runoff and sediment were mainly affected by the characters of rainfall. In 4~5 ages stage when the forest became maturing, the annual runoff depth and annual erosion modulus were 1.8~3.2 mm and 24.64 t·km⁻², respectively. In 6~12 ages stage when the forest matured, the runoff and sediment on seabuckthorn woodland changed slowly, the annual runoff depth and annual erosion modulus being 0.3~3.4 mm and 0~6.75 t·km⁻², respectively, and the characters of rainfall had much less effect on them. In the stage from young (2~5 ages) to mature forest, the sediment charge in runoff changed sharply, ranged from 77.31 kg·m⁻³ to 9.12 kg·m⁻³, but in 6~12 ages stage, the sediment content in runoff changed very slowly, and the range was 0~5.09 kg·m⁻³.

Key words Artificial seabuckthorn forest, Loess hilly region, Soil and water conservation, Mechanism.

1 引言

沙棘(*Hippophae rhamnoides*)在我国南北均有分布,总面积超过 $2.13 \times 10^4 \text{ km}^2$,黄土高原是沙棘分布的中心区域^[11,16],能同时在该区的森林带、森林草原带和典型草原带生长.我国最早使用沙棘营造水土保持林始于20世纪40年代,并获得预期效果^[8].自1985年以来,我国“三北”地区平均每年营造人工沙棘林 $8.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$,人工沙棘造林已达 $1.33 \times 10^4 \text{ km}^2$,有效地提高了植被的覆盖度,减轻了风沙和水土流失的危害^[2,13].

有关沙棘水土保持作用的研究很多^[7,12],其总

的特点是水土保持机理方面的研究较多,效益方面的研究相对薄弱;短期、单项研究居多,长期系统性的研究资料明显不足^[3].本文利用10余年的野外观测资料,系统分析了沙棘幼林到成林过程中的水土保持作用演变.对于认识沙棘林发挥水土保持功能的过程及机理,丰富黄土高原人工林水土保持作用研究成果均具有重要价值.

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-421)、国家“十五”科技攻关项目(2004BA508B14)和中国科学院野外台站研究基金资助项目.

** 通讯联系人.

2004-03-08 收稿, 2004-12-24 接受.

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

试验地位于中国科学院安塞水土保持试验站人工林地试验区,地理位置 109°19'E, 36°51'N, 属典型梁峁状丘陵沟壑区,海拔 1 010~1 431 m. 土壤类型为黄绵土,且在 50~100 m 深度范围内质地均一. 多年平均降水量 497.0 mm, 且存在明显的旱季和雨季之分,其中 6~9 月为雨季,占全年降水量的 72.9% (图 1),干燥度 1.48,年平均气温 8.8℃. 植被地带属森林草原区,天然森林已全遭破坏,灌木呈零星分布,形成以中旱生草本植物群落占绝对优势的植被.

供试的人工沙棘林为 1993 年及其以后栽植,分小区试验林及荒坡造林两种. 水土保持机理测定在荒坡和小区沙棘林地进行. 效益研究在径流小区进行,其垂直投影面积为 5 m×20 m, 边墙采用钢筋混凝土预制板埋入地下 35 cm, 地表外露 10 cm, 沙棘林和荒坡小区均处于同一集水区的东坡,

表 1 试验小区植被基本情况

Table 1 Basic situation of vegetation in experimental plots

植被类型 Vegetation types	地貌 部位 Location	坡向 Slope direction	坡度 Slope degree	林龄 Age (yr)	盖度 Coverage	平均基径 Mean basal diameter (cm)	平均高 Mean height (m)	初植密度 Density (plant·hm ⁻²)	干物质量 Dry biomass (kg·hm ⁻²)
荒坡 Wildland	沟坡 Gully	东坡 East	23°		0.45		0.31		601.5
沙棘 Seabuckthorn	沟坡 Gully	东坡 East	23°	10	0.90	5.41	3.5	6667	23767.0

2.2 研究方法

2.2.1 林冠截留量 采用雨量筒收集法^[18]. 林冠截留量测定了 10 处不同郁闭度的沙棘林,在每处林下,放置 10 个雨量筒,并在林外空旷地安放雨量筒作为对照. 每次降雨后,同时测算林内和林外降雨量.

2.2.2 枯落物持水量 依据林龄不同测定了 7 处林地. 枯落物收集采取在林下设置 3 个面积为 1 m×1 m 的样方,全部收集其枯落物并称量,混合后取一部分烘干求其干重,计算林地蓄积量,另一部分在清水中浸泡 24 h, 求其饱和持水率和持水量.

2.2.3 土壤入渗 采用双环入渗法测定^[1]. 同时测定小区内荒坡和 10 龄沙棘林地的入渗速率.

2.2.4 土壤抗冲性 采用水槽法^[23]. 取原状土为冲刷样本并在冲刷前先浸泡 12h,使其达到饱和含水量状态. 冲刷选取当地常见造林坡度 20°、25°、30°,以常见暴雨雨强 (1.7~2.0 mm·min⁻¹) 在标准小区 (5×20 m²) 内产生的最大流量计算单宽流量,作为主要冲刷流量 (3.4~4.1·min⁻¹). 试验采取相同测定时长 15 min,每隔 1 min 取水样 1 次,测定含泥土量.

2.2.5 径流、泥沙量 采用径流桶收集法,每次产流后测定径流总体积,并取均匀径流样,测定泥沙体积,计算径流量和产沙量.

3 结果与分析

3.1 沙棘林水土保持作用机理

小区内沙棘为 1993 年春季建造,每种试验设计均有一个重复,基本情况见表 1.

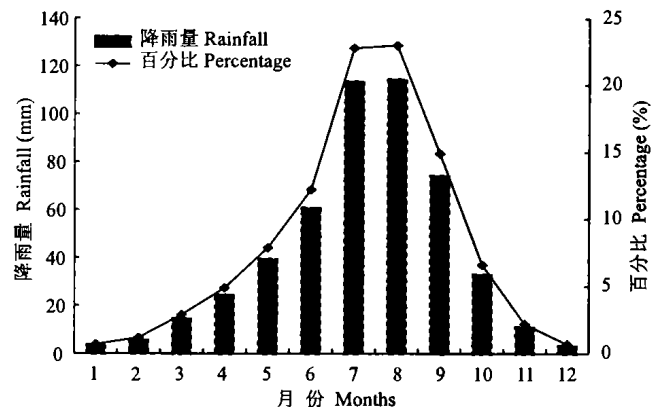


图 1 1970~2003 年安塞县平均降水量的月变化

Fig. 1 Month change of average rainfall from 1970 to 2000 in Ansai county.

3.1.1 冠层截持降水作用 通过对 10 块不同林龄沙棘林冠截留降水资料分析认为,该区 7~10 龄沙棘林冠年截留率变化在 6.9%~9.8%,平均为 8.5%,说明林冠截留后,有 91.5% 的降水可到达林地表层. 相关分析表明,林冠截留率随郁闭度变化明显,所得函数式如下:

$$I = -1.59 + 0.018C^{1.439} \quad R^2 = 0.999 \quad (1)$$

式中, I 为林冠截留率 (%); C 为郁闭度 (%), 取值范围 40%~90%. 从式 (1) 中 R^2 值可看出,林冠截留率与郁闭度 (C 值) 密切相关,而 C 值与沙棘生长状况有关,因此,该式更能反映林冠截留率随沙棘生长的变化情况,可作为预测林冠截留量的函数式.

3.1.2 枯落物层截持降水作用 该区沙棘林在 5~6 龄基本郁闭,在林下有枯落物积累,并对林地水文循环产生重要影响. 由表 2 可见,6~10 龄沙棘林枯落物层的最大持水容量为 5.78~11.88 t·hm⁻²,平均 8.45 t·hm⁻²,说明这一地区沙棘成林的枯落物层平均次降雨可最大截留 0.85 mm 的降水,减少了林地径流量.

3.1.3 提高土壤入渗性能 冠层郁闭和枯落物层覆盖,防止了雨滴对地表的击溅作用,避免了结皮形成;枯落物层的分解和根系的穿透、腐烂作用,增加

了土壤有机质含量和孔隙度,改善了土壤理化性质,提高了土壤入渗性能^[6,14]。

表 2 6~10 龄人工沙棘林地枯落物蓄积量及持水特性
Table 2 Water holding capacity of litter layer in 6~10 ages seabuckthorn woodlands

林龄 Age (yr)	郁闭度 Canopy density (%)	枯落物蓄积量 Storage of litter (t·hm ⁻²)	干重吸水量 Water absorption capacity of dry litter (kg·kg ⁻¹)	持水容量 Water holding capacity (t·hm ⁻²)	(mm)
6	35	3.10	2.37	7.37	0.74
7	45	2.52	2.40	6.06	0.61
7	70	3.22	2.16	6.98	0.70
8	40	2.24	2.58	5.78	0.58
8	90	3.32	2.84	9.44	0.94
9	93	4.75	2.50	11.88	1.19
10	85	4.02	2.90	11.63	1.16

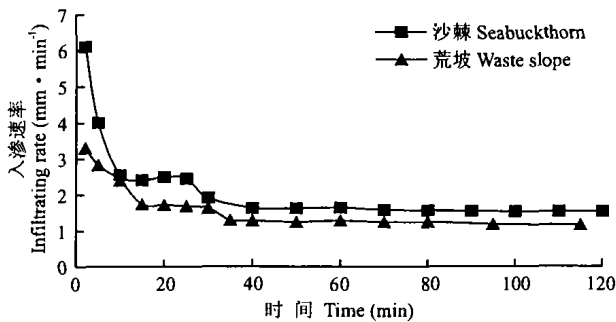


图 2 沙棘林土壤入渗性能随时间变化
Fig.2 Change of soil infiltrating capability in seabuckthorn stand with time.

由图 2 可知,积水下渗条件下,沙棘林地的入渗速率在整个测定时段均高于荒坡,其差值在入渗初期最大,随着入渗时间的延长,差值逐渐减小.入渗初期,沙棘林地入渗速率为 6.1 mm·min⁻¹,远高于荒坡的 3.3 mm·min⁻¹;达到稳渗阶段时,林地和荒坡的入渗速率分别为 1.5 和 1.2 mm·min⁻¹,二者仍相差 0.3 mm·min⁻¹,显示出沙棘林地具有良好的入渗保水能力。

3.1.4 提高土壤抗冲性能 1) 枯落物层提高土壤抗冲性能. 枯落物层覆盖地表可有效提高土壤的抗冲性能. 由表 3 可见,在冲刷流量 4 l·min⁻¹,坡度 25°,冲刷历时 15 min 的相同条件下,沙棘林地去掉枯落物的土壤冲失量为 168.4 g,有 1 cm、2 cm 厚枯落物层覆盖的土壤冲失量比无覆盖分别减少 56.9%、

表 4 沙棘林根系提高土壤抗冲性的能力
Table 4 Effect of seabuckthorn root system on soil anti-scourability

		0~5 cm			15~20 cm			45~50 cm			95~100 cm		
		20°	25°	30°	20°	25°	30°	20°	25°	30°	20°	25°	30°
		5.6 min	5.6 min	5.6 min	5.6 min	5.6 min	5.6 min	2.4 min	2.4 min	2.4 min	2.4 min	2.4 min	2.4 min
沙棘林	A	0.75	0.75	0.75	0.43	0.43	0.43	0.12	0.12	0.12	0.07	0.07	0.07
Seabuckthorn woodland	B	7.78	6.38	8.5	8.36	12.2	10.3	34.8	29.5	22.5	26.3	25.9	33.2
荒坡	A	0.63	0.63	0.63	0.41	0.41	0.41	0.26	0.26	0.26	0.04	0.04	0.04
Waste slope	B	10.7	9.6	15.1	11.3	10.9	16.3	55.3	46.9	78.7	33.7	38.8	67.5

A: 植物毛根量 Thin root amount(g); B: 冲刷模数 Scouring modulus(g·L⁻¹);

表 3 沙棘枯落物层增强土壤的抗冲刷效应
Table 3 Effect of seabuckthorn litter layer on soil anti-scourability

坡度 Slope (°)	流量 Flow rate (l·min ⁻¹)	历时 Time (min)	枯落物厚度 Thickness of litter(cm)	沙棘 Seabuckthorn	
				土壤冲失量 Loss of soil (g)	去掉枯落物土壤减少 Rate of soil loss (%)
25	4	15	0	168.4	0
25	4	15	1	72.6	56.9
25	4	15	2	5.5	96.7
25	4	15	3	0	100
25	4	15	4	0	100
25	4	15	5	0	100

96.7%,超过 2 cm 厚时土壤便不产生流失,说明沙棘枯落物层厚度超过 2 cm 以上时,就可有效保护表层土壤免受降雨侵蚀.2) 根系提高土壤抗冲性能. 由表 4 可知,在冲刷流量(3.4 l·min⁻¹)和冲刷历时(15 min)相同条件下,土层深度、坡度一致时,沙棘林地的冲刷模数均小于荒坡,表明其土壤抗冲性能好于荒坡,且发挥作用的深度达 100 cm 以下;同一土层深度下,坡度对冲刷模数的影响不显著;随着土层深度的增加,沙棘林地的土壤抗冲能力逐渐减弱,这与不同土层内的植物毛根(直径 0.1~0.4 mm)数量有密切关系^[15]. 进一步分析毛根量和土壤冲刷模数的关系发现,二者呈显著幂相关,所得方程式如下:

$$M_s = 7.683R_d^{-0.529} \quad R^2 = 0.941 \quad (2)$$

$$M_h = 21.136R_d^{-0.275} \quad R^2 = 0.745 \quad (3)$$

式中, M_s 为沙棘林地冲刷模数(g·L⁻¹); M_h 为荒坡地冲刷模数(g·L⁻¹); R_d : 植物毛根量(g).

3.2 沙棘林水土保持功能

3.2.1 林地产流量 图 3 为沙棘造林后(1993~2003 年)的林地径流变化过程. 由图 3 可看出,沙棘林地减少产流的作用随着林龄的增加逐渐增强. 2~3 龄为幼林阶段,其减少径流的作用较小,林地产流量主要受降水因子影响,林地径流深变化在 7.2~9.4 mm. 4~5 龄是成林阶段,沙棘生长加快,林冠也开始郁闭,林地产流量迅速减少,径流深变化在 1.8~3.2 mm. 5 龄以后基本成林,不论是丰水年或枯水年,林地产流量维持相对稳定,6~12 龄林地的径流深变化在 0.3~3.4 mm,年平均径流深仅

1.4 mm. 沙棘在幼林(2~3龄)阶段与荒坡的保水作用相似,林地径流深占荒坡的94.4%,成林(4~5龄)阶段占35.5%,成林后(6~12龄)阶段占29.4%.与荒坡植被比较,2~12龄沙棘林平均年减少52%的径流量,显示出沙棘林的良好保水功能.

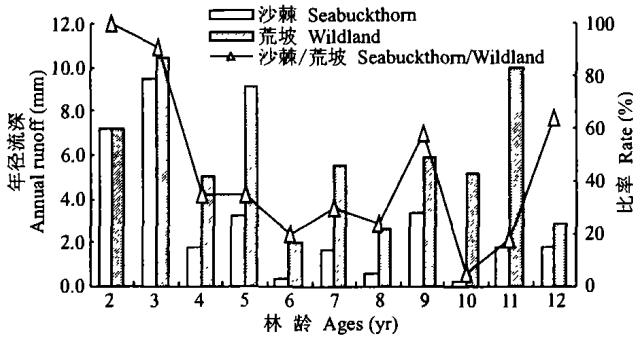


图3 沙棘林地径流深随林龄变化
Fig.3 Change of runoff depth with ages of seabuckthorn forest.

由上述分析可知,沙棘林地的产流变化除受林分生长状况影响外,与降水因子也密切相关.由表5可知,沙棘林地产流不仅与降雨量有关,而且受降雨强度影响.降雨量相似而雨强不同时,沙棘林地和荒坡的径流深不同.对单次降水中的雨量(P)、平均雨强(I)、最大30 min雨强(I₃₀)与径流深(R_S)的相关分析表明,沙棘林地径流深与降雨量和最大30 min雨强在0.01水平上显著相关.所得的函数式如下:

$$R_S = 0.094P^{0.603} I_{30}^{0.610} \quad R^2 = 0.971 \quad (4)$$

$$R_H = 0.824P^{0.204} I_{30}^{0.315} \quad R^2 = 0.948 \quad (5)$$

式中, R_S 为沙棘林径流深(mm); R_H 为荒坡径流深(mm); P 为单次降雨量(mm); I₃₀ 为最大30 min雨强(mm·min⁻¹).

由 R² 值可看出,函数式(4)和(5)具有较高的

相关性,可用于预测该区沙棘成林和荒坡的径流深.

表5 单次降水对沙棘林产流量的影响

Table 5 Effect of single rainfall on runoff in seabuckthorn woodland

P (mm)	I (mm·min ⁻¹)	I ₃₀ (mm·min ⁻¹)	R _S (mm)	R _H (mm)
10.8	0.29	0.36	0.24	1.01
13.8	0.35	0.44	0.31	1.05
20	0.05	0.18	0.43	1.7
20.7	0.15	0.57	0.31	0.96
21.8	0.02	0.15	0	0.50
25.5	0.031	0.16	0.09	0.47
31.3	0.035	0.12	0.09	0.22
35.3	0.04	0.26	0.26	1.19
38.8	0.2	0.6	0.763	1.78
42.1	0.06	0.32	0.45	1.57
66	0.08	0.19	0.59	1.54
105.4	0.04	0.71	1.22	1.66

3.2.2 林地产沙量 沙棘林的减沙作用随着林龄的增加逐渐增强(表6).幼龄(2~3龄)阶段,林地的保土能力较弱,土壤侵蚀量的变化主要受降水特性影响,年平均侵蚀模数为387.97 t·km⁻²;成林(4~5龄)阶段,林地土壤侵蚀量大幅减小,年平均侵蚀模数为24.64 t·km⁻²;成林后(6~12龄)阶段,沙棘林地土壤侵蚀量很小且相对稳定,年侵蚀模数变化在0~6.75 t·km⁻²之间.分析可知,径流深和产沙量的变化受林分状况和降水特性的双重影响而表现出复杂性的特点.而泥沙含量的变化则是林分过滤径流的结果,由林分结构、生长状况特别是林地枯落物层的数量决定.由表6可以看出,从造林到成林后(2~5龄)阶段,林地径流含沙量急剧减少,由77.31 kg·m⁻³减少到9.12 kg·m⁻³;成林后的6~12龄段,沙棘林地径流含沙量变化很小,含沙量变化在0~5.09 kg·m⁻³,显示出沙棘林良好的径流过滤作用和保土功能.

表6 人工沙棘林不同林龄阶段减沙效益分析

Table 6 Analysis on decreasing sediment of artificial seabuckthorn forest in different tree age stage

		林龄 Tree age(yr)										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		(1993)	(1994)	(1995)	(1996)	(1997)	(1998)	(1999)	(2000)	(2001)	(2002)	(2003)
年降水量	Annual rainfall(mm)	569.0	502.6	387.8	622.1	275.0	525.6	299.8	330.9	505.2	544.1	579.2
沙棘林	侵蚀模数 (t·km ⁻²)											
Seabuckthorn forest	Erosion modulus	601.10	174.83	20.11	29.17	1.21	1.58	0.84	2.48	0.18	0	6.75
	含沙量 (kg·m ⁻³)	77.31	18.55	11.18	9.12	3.03	0.97	0.76	0.73	0.68	0	5.09
	Sediment charge											

4 讨论

黄土丘陵半干旱区是我国生态环境治理的重点区域^[19,24].随着山川秀美工程的实施,林草植被建造恢复成为该区生态环境建设的核心问题^[9,22].通过对人工沙棘林水土保持机理的研究表明,该区沙棘成林的林冠年截留率为8.5%左右,枯落物层次

降雨最大可截留0.89 mm降水,林地枯落物层厚度超过2 cm时土壤便不产生流失;沙棘林具有改善土壤理化性质,增强土壤入渗、抗冲和抗蚀性能的良好作用,林地腐殖质含量均高于农地、草地^[17,21],显示出良好的水土保持作用,说明经营、管理良好的人工沙棘林可以起到保持水土、改善生态环境的作用.

然而,气候干旱、地形地貌复杂等不利因素导致

了该区植被建造的难度较大^[4,5,20],加之现有林草植被中存在的生态经济效益低等问题,增加了人们对这一地区林草植被建设前景的顾虑^[10].这其中除造林种草面积不实、成活率低、树草种选择不当等原因外,目前黄土高原的未成林及幼林占据较大面积,林草植被防护效益的滞后也是一个重要方面.由沙棘的水土保持机理及相关研究成果表明,森林植被的水土保持作用是不同层次共同发挥作用的结果,其形成有效的防护作用有一个过程.从人工沙棘林水土保持作用的演变过程也可以看出,幼林(2~3龄)阶段,减少径流和泥沙的作用较小,林地径流量和土壤侵蚀量的变化主要受降水特性影响,成林后(6~12龄)阶段,林地产流量和侵蚀量基本维持相对稳定,径流深变化在0.3~3.4 mm,年平均径流深仅1.4 mm,年侵蚀模数变化在0~6.75 t·km⁻²之间,降水特性的影响很小.从造林到成林(2~5龄)阶段,径流含沙量急剧减少,由77.31 kg·m⁻³减少到9.12 kg·m⁻³,成林后(6~12龄)阶段,径流含沙量变化很小,含沙量变化在0~5.09 kg·m⁻³,说明正确认识人工林水土保持作用特点及发挥的条件,对于评价人工林水土保持作用具有重要的指导意义.

参考文献

- Chen Y-M(陈云明), Chen Y-Q(陈永勤). 2003. Mechanism of hydrology and soil and water conservation effect of artificial seabuckthorn forest in loess hilly region. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), 23(8): 1357~1361(in Chinese)
- Chen Y-M(陈云明), Liu G-B(刘国彬), Hou X-L(侯喜禄). 2002. Ecological benefits of soil moisture and soil and water conservation in artificial seabuckthorn stands in semi-arid hilly region of Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(11): 1389~1393(in Chinese)
- Chen Y-M(陈云明), Liu G-B(刘国彬), Xu B-C(徐炳成), et al. 2004. Research progress and prospect of function on soil and water conservation of seabuckthorn in China. *Sci Soil Water Cons* (中国水土保持科学), 2(2): 88~92(in Chinese)
- Han R-L(韩蕊莲), Liang Z-S(梁宗锁), Zou H-Y(邹厚远). 1991. Preliminary study on water consuming characteristics of seabuckthorn in different dry soil condition. *Hippophae* (沙棘), 4(4): 33~38(in Chinese)
- Hou Q-C(侯庆春). 1999. Preliminary study on soil dry layer of artificial forest and grassland on loess plateau. *J Chin Soil Water Cons* (中国水土保持), (5): 457~459(in Chinese)
- Hou X-L(侯喜禄), Bai G-S(白岗栓), Cao Q-Y(曹清玉). 1995. Contrast study of soil infiltration capacity and anti-scourability in *Robinia pseudoacacia*, *Caragana microphylla* and *Hippophae rhamnoides* woodlands. *J Soil Water Cons* (水土保持学报), 9(3): 90~95(in Chinese)
- Hu J-Z(胡建忠). 1999. Study on soil anti-erodibility of artificial seabuckthorn woodland in loess gully region. *Hippophae* (沙棘), 12(1): 14~20(in Chinese)
- Huang Q(黄 铨), Shi L-F(史玲芳), Wang S-K(王士坤). 1998. Exploitation and Utilization as Well as Planting Techniques of Seabuckthorn. Beijing: Jindun Press. 8~9(in Chinese)
- Huang Z-L(黄志霖), Fu B-J(傅伯杰), Chen L-D(陈利顶). 2002. Restructure and restoration of ecosystem in loess plateau based on restoration ecology. *J Soil Water Cons* (水土保持学报), 16(3): 122~125(in Chinese)
- Jiang D-S(蒋定生). 1997. Soil Erosion and Control Models in the Loess Plateau. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press. 112~113(in Chinese)
- Li C-J(李承节). 1989. Abstract of Seabuckthorn. Beijing: China Forestry Press. 41~42(in Chinese)
- Li D-Q(李代琼), Huang J(黄 瑾), Jiang J(姜 峻), et al. 2003. Study on introduction and cultivation of seabuckthorn variety in the semiarid loess hilly region. *Global Seabuckthorn Rese Dev* (国际沙棘研究与开发), 1(2): 23~27(in Chinese)
- Li G-Q(李根前), Huang B-L(黄宝龙), Tang D-R(唐德瑞), et al. 2001. Regulation of clonal growth *Hippophae rhamnoides* L. subsp *sinensis* population in Mu Us sandland. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(5): 682~686(in Chinese)
- Li Y(李 勇). 1990. Study on soil anti-scourability increased by the root system of seabuckthorn. *J Soil Water Cons* (水土保持学报), 4(3): 15~20(in Chinese)
- Li Y(李 勇). 1995. Anti-scourability and Plant Root System of Loess Plateau. Beijing: Science Press. 38~42(in Chinese)
- Ren X-W(任宪威). 1997. Dendrology. Beijing: China Forestry Press. 364~366 (in Chinese)
- Ruan C-J(阮成江), Li D-Q(李代琼). 2002. Community characteristics of *Hippophae rhamnoides* forest arid water and nutrient condition of the woodland in loess hilly region. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(9): 1061~1064(in Chinese)
- Sci-Tech Departement of Chinese Ministry of Forestry(林业部科技司). 1994. Fixed Research Technique of Forest Ecosystem. Beijing: China Science and Technology Press. 146~147(in Chinese)
- Sun C-Z(孙长忠). 1998. Relationship between artificial vegetation with its soil water environment. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), 20(3): 7~13(in Chinese)
- Sun C-Z(孙长忠), Huang B-L(黄宝龙), Liu S-M(刘淑明), et al. 2000. Soil moisture dynamics in forest land and wasteland of Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(4): 523~526(in Chinese)
- Sun L-D(孙立达), Zhu J-Z(朱金兆). 1995. Evaluation and Study on Comprehensive Benefits of Soil and Water Conservation Forest System. Beijing: China Science and Technology Press. 262~265(in Chinese)
- Wang G-L(王国梁), Liu G-B(刘国彬), Hou X-L(侯喜禄). 2002. The research of species diversity after the vegetation restoration in loess hilly region. *J Mount Sci* (山地学报), 20(2): 182~187(in Chinese)
- Wang Y-K(汪有科), Wu Q-X(吴钦孝). 1993. Study on anti-scourability mechanism of woodland litter layer. *J Soil Water Cons* (水土保持学报), 7(1): 75~80(in Chinese)
- Xu B-C(徐炳成), Shan L(山 仑). 2004. A comparative study on water characteristics and eco-adaptability of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana korshinskii* in semi-arid loess hilly region. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(11): 682~686(in Chinese)

作者简介 陈云明,男,1967年生,博士,副研究员.主要从事森林生态和水土保持方面的研究,发表论文30余篇. Tel. 029-87012353; E-mail: ymchen@ms.iswc.ac.cn