

## 坡地槟榔根系调查研究

张敬昌

(中兴大学水土保持学系, 台湾 台中 402)

**摘要:** 槟榔目前为台湾收益优势作物, 在利之所趋情况下继续入侵山坡地已不可避免, 因此槟榔对水土保持影响成一热门课题。诸多因子中根系对水土保持影响为重要参考资料, 探讨槟榔根系中根系分布、根型、根密度以做为了解槟榔根系对土壤抗剪力研究之用, 经选定台中大坑地区槟榔园试验, 结论如下: (1) 槟榔为浅根系, 无论上下坡其根数及根断面积均集中于 0~50 cm 间, 根数均以下坡数多于上坡, 根直径则随深度之增加而递减。根直径介于 0.1~20.5 mm 间, 根系横向扩展亦不高, 大约介于 30~100 cm, 横向扩展随土深而增加, 无明显主根, 根型如团网型(Massive type)。(2) 槟榔根系无论于各土层深度分布均以细根及小根所占比例最高, 显见槟榔小径根特多, 无法分辨明显主根, 由于根力与根面积比呈正比, 过多之小径根直接影响根力, 因此槟榔根力将因小径根所占比例过高而降低根力。(3) 槟榔根系密度介于  $2.403 \times 10^{-4}$ ~ $9.791 \times 10^{-4}$ , 其中下坡断面根系密度分别为上坡断根系密度 2.7 倍及 1.2 倍。

**关键词:** 坡地; 槟榔; 根系; 水土保持

中图分类号: S157; S667

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)03-0113-05

## Investigation on Roots of the Betel Nuts in Slopeland

ZHANG Jing-chang

(Department of Soil and Water Conservation, Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, China)

**Abstract:** The Betel Nuts are located at Ta-Kan in Taichung, central Taiwan. The results obtained are summarized as following: (1) According to classification, the Betel Nuts root system is shallow root system. And the number of roots concentrate in 50 cm, top of soil. The diameter of roots are from 0.1 mm to 20.5 mm, and decrease with depth of soil. Apparently, roots-system of the Betel Nuts has no main roots. The type of roots is classified as "Massive type". (2) According to measurement, fine roots and small roots have the highest proportion of the roots-system. It is confirmed that the strength of roots of the Betel Nuts will be reduced because of that. (3) Densities of roots of the Betel Nuts distribute from  $2.403 \times 10^{-4}$  to  $9.791 \times 10^{-4}$  for samples. The densities of roots in downhill are higher from 1.2 times to 2.7 times than in uphill.

**Key words:** slopeland; betel nuts; root system; investigation; soil and water conservation

### 1 前言

槟榔(Betel Nuts), 目前为台湾最昂贵作物, 俗称“绿金”, 一年收入为同面积稻米收入之 4 倍。台湾槟榔种植垂直分布以海拔 500 m 以下浅山坡地及平地占多数, 约为 82%, 海拔 500 m 以上山地约占 18%, 在利之所驱诱导下, 槟榔园继续长捣入山坡地之趋势无法避免。因此槟榔对于坡地之冲击究竟如何, 已成社会上许多团体及个人之兴趣, 正从各种领域去探讨, 期能找出各项答案, 做为政府施政或业者经营方针之对策及参考。本研究即针对槟榔根系部分做一深入探讨, 就根系分布、根型、根密度等之因子予以调查分析及统计归纳, 期能从此一领域寻找部分结论, 希望作为今后更深入研究者参考。

### 2 前人研究

#### 2.1 根系分布与环境之关系

颜正平(1974)指出根系发育受遗传潜力(Hereditary potentialities)及环境因子(Environmental factor)所影响。根系分布虽有其先天之基本类型, 但易因气候土壤位置, 及生物等因子而改变, 同类树种生长不同生育地者, 其分布型态绝难相同。李庆瑞(1981)亦指出百喜草诸品系在生育初期其性状表现易受环境影响, 其遗传率低, 而在生育后遗传率较高。Russell(1977)指出根系在土中生长可归诸三种环境压力: (1)化学压力——缺乏养分未均衡供应水分或有毒物质呈现。(2)物理压力——不适当水分供应根穿透土壤机械阻力通气不良。(3)生物压力——土中细菌疾病, 且光度会导致

根部重量减少。颜正平(1974)亦指出台湾地区根系分布各方位中以南向最多,依次为东向及西向,而北向最少,此与温度及水分有关。颜正平(1981)年调查黑胡桃发现根系数目分布及根之直径有随土壤深度而减少之趋势。乔场宏治等(1981)指出根系分布受土壤水分影响很大,表层土壤水分高部根系分布的比例为多,根量亦受土壤水分之影响,土壤水分低时根量会增加,此系因干燥时为有效利用土壤水分,使分枝根增多的结果。

2 2 根系作用之探讨

Pritchett(1979)指出根在植物生命中扮演相当重要角色,因其提供物理支持,且为吸收水分及养分之器官,并有利于土壤稳定及发育,较大根贯穿表土层而产生锚定作用。颜正平(1974)谓根系在水土保持上应用有四:(1)崩塌之防止——植物根群之固结及压实土壤,可增加凝聚力及摩擦力,亦可消耗土中水分以免逢雨时土壤抗剪力急速降低。(2)防止水分流失——植物之根群有网结作用,防止土壤冲蚀,增加土粒结合作用,而使斜面表土层强化。(3)改良土壤,增加渗透——深根性之根系有破碎底土,增加风化,腐朽根系有增加渗透及改良土壤之效。(4)防风定砂——根系深长而横向扩展小者为理想之防风定砂植物。

2 3 根力量化模式推导

推导根力量化模式应先了解根拉力强度(Tensile strength of roots)和根力强度(Roots strength)。所谓根拉力强度意即根拉力试验时之破裂强度(Breaking strength),强度大小与根本身材料结构有关系,根力强度则为根株本身之机械补强度(Mechanical reinforcing force)及根与土壤紧缚之摩擦力(Friction of roots- soil binding)作用增加之土壤剪阻力谓之。

根系为一有机体,在土壤中不断贯穿土体,破碎土粒而生长,同时也因根力之存在,及根系吸收土壤水分,一方面增加土壤摩擦力,一方面增加土壤凝聚力,构成土壤总抗阻力之增加。陈信雄(1990)指出,有机体之量化模式,因变量甚多,对于根力量化模式之推导,应有如下之基本假设:(1)含根土壤之破坏,适用土壤破坏定律。(2)根垂直定位于剪力带,且锚定于剪力带另一端土壤中。(3)所有根株的拉力强度均能完全传送,根受拉力时仅能拉断不能拉出。(4)土壤内摩擦角与根系无关。

3 试验材料及方法

3 1 试验区自然环境

(1)本试验区选择于台中大坑山坡地西边一槟榔园,面积约 5 hm<sup>2</sup>,海拔为 200~ 300 m 间,坡向东南,平均坡度为 15.86°;该园所种植槟榔年生分别为 3~ 30 年生不等。

(2)地质与土壤:主要为上新世卓兰层,地质为泥岩砂岩及页岩互层,土壤以砂质壤土为主,有机质含量平均约为 0.982 9%,土壤摩擦角约 25.54°。

(3)气象与水文:依据台中测候站资料,大坑地区年平均气温为 22.8℃,每年月平均温度以 7 月最高,约为 28.4℃,1 月份最低,约为 15.8℃。年平均相对湿度为 80.9%。雨量记录采 1971~ 1990 年共 20 年之资料,最大年雨量为

2 339.9 mm,最小年雨量为 1 017.5 mm,年平均雨量为 1 661.1 mm,其中 5~ 8 月降雨最多为雨季,10 月至翌年 1 月降雨最少为旱季。

3 2 试验材料及研究方法

选择槟榔标准木 3 年生一株,8 年生二株,12 年生二株作根系分布调查,其中 3 年生采全株掘起观测,8 年生及 12 年生则采壕沟法(Trench method)观测。

于坡面上选择 3、8、12 年生槟榔标准样木(一年生平均生长 4 节,外形健康)各 1、2、2 株,株高、直径予以记录之。其中 3 年生采全株掘起作为观测样本,8 年生及 12 年生则采壕沟法人工挖掘。由于一般木本植物根系分布系向四周放射,挖掘尺寸则参照树冠投影面积,以样木为中心,画半径 1 m 之圆,分上下坡面进行调查,上坡面半圆订为 A 断面,下坡面订为 B 断面,另为了解根系深度分布,至无根处取平行坡面之底部订为 C 断面。壕沟挖掘完竣后置入方格网,以每 25 cm 深度进行,用直径光标尺将根系一根根量测并记录之。A、B 断面量测完竣后将槟榔整株倾倒,进行量测 C 断面。量测完成断面,以剪定夹小心将各不同直径鲜根剪下,置入预备好之塑料袋中,并绑紧之以防止水分流失,携回实验室,并于 3 d 内完成拉力实验,以保持根含水率在纤维饱和点上。

4 结果与讨论

4 1 根系分布

依据现场调查及丈量计算,槟榔不同年生不同断面根系分布数值如下表 1、2:

表 1 8 年生槟榔根系分布情形

深度		根系深度/cm				小 计
		0~ 25	25~ 50	50~ 75	75~ 100	
A	R. N	96	66	62	23	247
	/%	38.9	26.7	25.1	9.3	100
	R. A	3 6406	3 332953	3 258299	1 080003	11 367661
	/%	32.0	29.3	28.7	10	100
B	R. A	90	84	29	20	223
	/%	40.4	37.7	13.0	8.9	100
	R. A	16 37142	9 882053	2 532489	1 948732	30 744694
	/%	53.2	32.1	8.2	6.5	100
C	R. N					190
	R. A					7 543318

表 2 12 年生槟榔根系分布情形

深 度		根系深度/cm				小 计
		0~ 25	25~ 50	50~ 75	75~ 100	
A	R. N	130	266	150	16	562
	/%	23.1	47.3	26.6	3	100
	R. A	5 293398	6 384408	2 9628245	0 234636	14 875267
	/%	35.5	42.9	19.9	1.7	100
B	R. N	182	188	51	15	436
	/%	41.7	43.1	11.6	3.6	100
	R. A	10 01002	6 7963755	1 46269	0 876923	19 1460092
	/%	52.2	35.4	7.6	4.8	100
B	R. N					151
	R. A					24 49365

4 1 1 A 断面根系分布 无论 8 年生或 12 年生,其根数及根数面积均集中在 0~ 50 cm 间,分别占总数之 65.6%、61.3%、70.4%、87.6%,可见本断面积槟榔根系属浅根性系

列。根数比较则 12 年生在 25~ 50 cm 处有 266 根为最多, 截面积亦 12 年生长同处 6 388 40 cm<sup>2</sup> 为最大, 本断面深度达 100 cm, 最小直径为为 0 1 mm, 最大直径为 6 4 mm。

4 1 2 B 断面根系分布 无论 8 年生或 12 年生, 其根数及根断面积集中在 0~ 50 cm 间, 分别占总根数之 78 1%、88 3%、84 98%、87 6%, 可见本断面槟榔根系亦属浅根性根系型。根数比较, 则 12 年生在 25~ 50 cm 处有 188 根为最多, 则 12 年生在 25~ 50 cm 处有 188 根为最多, 截面积则以 12 年在 0~ 25 cm 处 10 010 02 cm<sup>2</sup> 为最大, 本断面深度达 100 cm, 最小直径为 0 1 mm, 最大直径为 20 5 mm。

4 1 3 C 断面根系分布由于槟榔根系无明显主根, 根系类型类似团网型(massive type), 且根系集中于 0~ 50 cm 深之土层, 故 C 断面根数及根截面积虽以 1 m 为半径之圆断面, 然其数量并不比 A、B 断面最高值最高。其中 8 年生根数 190 及 12 年生根断面积 24 493 65 cm<sup>2</sup> 为最大值, 占 8 年生总根数 28 8%, 及占 12 年总断面积 41 2%, 本断面最小直径为 0 2 mm, 最大直径为 7 0 mm。

4 1 4 二个年生根分布比较 依据图一、二可知, 各年生各断面根数较, 以 12 年生 B 断面(下坡断面)为最高, 亦符后一般坡地植物之特性, 即根系偏向下坡生长。两个年生根系最终小直径均为 0 1 mm, 最大直径则以 8 年生 20 5 mm 为最高, 另槟榔根系截面积有愈深愈小之趋势, 仅年生 25~ 50 cm 处稍大于 0~ 25 cm 处, 其余各断面以深度 V. S 断面积言, 斜率为负值, 其中最大值为 8 年生 B 断面为最高。

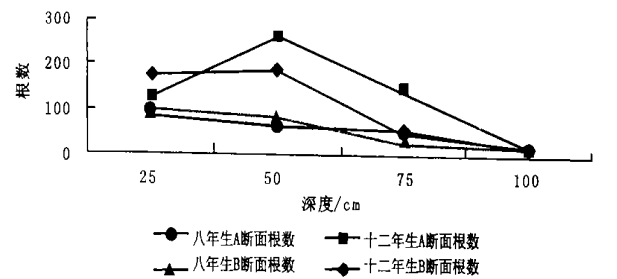


图 1 槟榔不同年生各断面根数比较

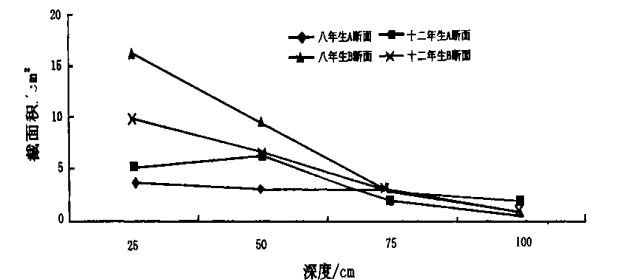


图 2 槟榔不同年生各断面根系数面积分布比较

4 1 5 A、B 断面根系之扩展性 依据实际挖出土之样木, 槟榔实测横向延展最大值, 3 年生约 30 cm, 12 年生约 80~ 100 cm。离土层愈深其扩展性愈大, 外观说来, 槟榔根型就像一个正立铜铃一般。

4 1 6 根径分级方式如表 3 依据表 3 可将调查之槟榔根

系频度表整理如下:

表 3 根径分级表

根 级	根 径/mm
极细根	0 5
细 根	0 51~ 2
小 根	2 10~ 5
中 根	5 10~ 10 1
粗 根	10 1~ 20
极粗根	> 20

表 4 8 年生槟榔各深度根级频度

年 断 根	生 面 级	深 度				合 计	
		0~ 25	25~ 50	50~ 75	75~ 100	根 数	/%
		根数 /%	根数 /%	根数 /%	根数 /%		
8 年 生	极细根	9 3 6	11 4 4	6 2 4	7 2 8	33 13 2	
	细 根	48 19 4	21 8 4	37 15 0	8 3 2	114 46 0	
	小 根	48 15 4	33 13 4	12 4 9	7 2 8	90 36 5	
	粗 根	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	
	极粗根	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	
	合 计	96 38 9	66 26 7	62 25 1	23 9 3	247 100	
	极细根	4 1 8	2 0 9	2 0 9	0 0 0	8 3 6	
	细 根	33 14 8	36 15 7	8 3 6	7 3 1	83 37 2	
	小 根	39 17 5	35 15 7	17 7 6	10 4 5	101 45 3	
	粗 根	10 4 5	9 4 1	2 0 9	3 1 3	24 10 8	
生 面	粗 根	4 1 8	2 0 9	0 0 0	0 0 0	6 2 7	
	极粗根	0 0 0	1 0 4	0 0 0	0 0 0	1 0 4	
	合 计	90 40 4	84 37 7	29 13 0	20 8 9	223 100	
	极细根					41 21 6	
	细 根					96 50 5	
	小 根					44 23 2	
	粗 根					9 4 7	
	极粗根					0 0 0	
	合 计					190 100	

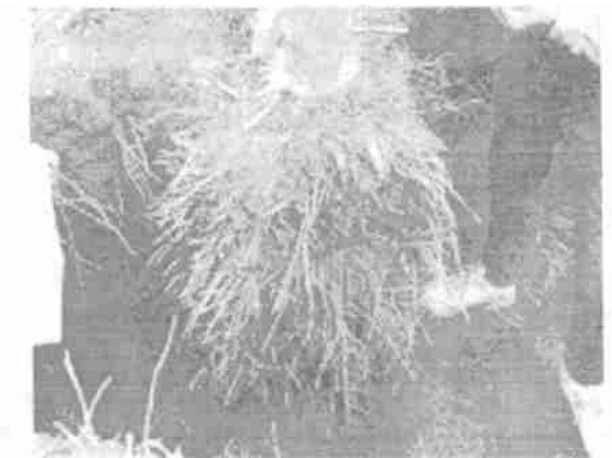


图 3 槟榔根系于坡地现场



图 4 槟榔根型

表5 12年生槟榔各深度根级频度

年 断 根	生 面 级	深 度												合 计		
		0~ 25		25~ 50		50~ 75		75~ 100		根 数	/%					
		根数	%	根数	%	根数	%	根数	%							
A	极细根	12	2	1	46	8	2	60	10	7	7	1	4	125	22	4
	细根	67	12	0	168	29	9	66	11	6	5	0	9	306	54	4
	小根	51	9	0	48	8	5	23	4	1	4	0	7	126	22	3
	中根	0	0	0	4	0	7	1	0	2	0	0	0	5	0	9
	粗根	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	极粗根	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	合计	130	23	1	266	47	3	150	26	6	16	3	0	562	100	
	极细根	3	0	7	13	3	0	14	3	2	0	0	0	30	6	9
	细根	109	25	0	128	29	3	28	6	4	8	1	8	273	62	5
	小根	66	15	1	46	10	6	9	2	0	6	1	6	127	29	3
C	中根	3	0	7	1	0	2	0	0	0	1	0	2	5	1	1
	粗根	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	
	极粗根	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	合计	182	41	7	188	43	1	51	11	6	15	3	6	436	100	
	极细根													0	0	
12 年生	细根													19	12	6
	小根													88	58	3
	中根													44	29	7
	粗根													0	0	
	极粗根													0	0	
C	合计													151	100	

表6 槟榔各断面各根级频角

年 生	根 级	断    面						合    计	
		A		B		C		根 数	/%
		根数	/%	根数	/%	根数	/%		
8 年 生	极细根	33X	5 0	8	1 2	41	6 2	82	12 4
	细根	114	17 3	83	12 6	96	14 5	293	44 4
	小根	90	13 6	101	15 3	44	6 7	235	35 6
	中根	10	1 5	24	3 6	9	1 4	43	5 5
	粗根	0	0	6	0 9	0	0	6	0 9
12 年 生	极粗根	0	0	1	0 2	0	0	1	0 2
	合  计	247	37 4	223	33 8	190	28 8	660	100
	极细根	125	10 9	30	2 6	0	0	155	13 5
	细根	306	26 6	273	23 7	19	1 7	598	52 0
	小根	126	11 0	127	11 1	88	7 7	341	29 8
	中根	0	0	1	0 1	0	0	1	0 1
	粗根	0	0	0	0	0	0	0	0
	极粗根	0	0	0	0	0	0	0	0
	合  计	562	48 9	436	37 9	151	13 2	1149	100
	极细根	0	0	0	0	0	0	0	0

(1) 依据表4、表5可知槟榔根系无论于各土层深度分布均以细根及小根所占比例最高, 显见槟榔小径根特多, 无法分辨明显主根。

(2) 依据表6资料, 如以单株槟榔而言, 8年生根径频度以细根所占44.4%为最高, 12年生亦以细根所占52.0%为最高。从各断面观察, 8年生A断面以细根17.3%最高, B断面以小根15.3%最高, C断面以细根14.5%最高, 12年生A断面以细根26.6%最高, B断面以细根23.7%最高, C断面以小根7.7%最高, 由于根力与根面积比呈正比, 过多之小径根直接影响根力, 因此槟榔根力必定因小径根所占比例高而降低根力。

#### 4.2 根系密度

根系密度为单位土壤断面面积所含根断面面积, 亦即根截面面积与土壤截面面积之比, 其结果如表七可知根系密度为介于 $2.403 \times 10^{-4}$ ~ $9.791 \times 10^{-4}$ 值。

8年生B断面(下坡)根系密度分别为A断面及C断面

2.7倍及4倍, 12年生B断面根系密度亦为A断面1.2倍, 显见槟榔下坡根系为支撑植株而有较粗根系。而以年生比较, 12年生较8年生总根系密度为高。

表7 槟榔根系不同年生不同断面根系密度

年 项 目	断 面	根 数		根断面面积		土壤断面面积根系密度	
		R. N	/%	R. A /cm	/%	A s/m	A r/A s
		根数	%	根数	%	根数	%
8年生	A	247	37.4	11.367661	22.9	3.14	$3.620 \times 10^{-4}$
	B	223	33.8	30.744694	61.9	3.14	$9.791 \times 10^{-4}$
	C	190	28.8	7.546618	15.2	3.14	$2.403 \times 10^{-4}$
	合计	660	100	49.658973	100	9.42	$5.271 \times 10^{-4}$
12年生	A	562	48.9	14.875267	25.4	3.14	$4.737 \times 10^{-4}$
	B	436	37.9	19.1460092	32.7	3.14	$6.097 \times 10^{-4}$
	C	151	13.2	24.49365	41.9	3.14	$7.800 \times 10^{-4}$
	合计	1149	100	58.4149262	100	9.42	$6.212 \times 10^{-4}$

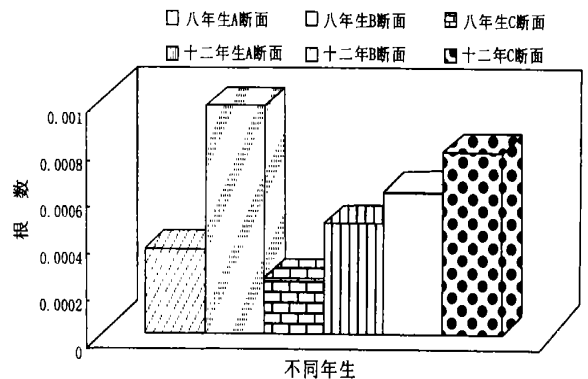


图5 槟榔不同年生各断面根系密度比较

## 5 结 论

槟榔根系经调查试验分析结果如下:

(1) 槟榔为浅根系, 无论上下坡其根数及根断面面积均集中于0~50 cm间, 而根数无论8或12年生, 均以下坡数多于上坡, 根直径则随深度之增加而递减。两年生根直径最小值均0.1 mm, 8年生最高直径为20.5 mm, 12年生则为12.5 mm, 槟榔根系扩展性亦不高, 大约介于30~100 cm, 横向延展随土深而增加, 无明显主根, 根型如团网型(Massive type), 具体说来, 槟榔根系外型有如正立铜铃。

(2) 槟榔根系无论于各土层深度分布均以细根及小根所占比例最高, 显见槟榔小径根特多, 无法分辨明显主根, 以单株槟榔而言, 8年生根径频度以细根所占44.4%为最高, 12年生亦以根所占52.0%为最高, 由于根力与根系密度呈正比, 过多之小径根直接影响根力, 因此槟榔根力将因小径根所占比例过高而降低根力。

(3) 依据调查样本槟榔根系密度为介于 $2.403 \times 10^{-4}$ ~ $9.791 \times 10^{-4}$ 值, 其中下坡断面根系密度分别为上坡断面根系密度2.7倍及1.2倍, 而以年生比较, 12年生较8年生总根系密度为高。

## 参考文献:

- [1] 周恒 不同经济草类在不同坡度上防冲效能及对土壤渗透影响之测定[J] 台湾水土保持试验汇刊, 1, 1969 337- 351
- [2] 廖绵浚 台湾水土保持论丛[J] “台湾省政府农林厅山地农牧局”, 1982 147- 150
- [3] 颜正平 水土保持木本植物根系分布类型研究[J] 中兴大学农学院水土保持学系, 1974 1- 7, 212- 243

- [4] 颜正平, 郭俊杰 环境因子对百喜草生长之影响[J]. “中华水土保持学报”, 1988, (20): 39- 58
- [5] 颜正平 黑胡桃根系分布与土壤性质之关系[J]. “中华水土保持学报”, 1981, (12): 37- 50
- [6] 李庆瑞 水土保持处理与柳橙根系分布关系之调查研究[J]. “中华水土保持学报”, 1977, 8(2).
- [7] 李庆瑞, 吴诗都 百喜草植物学上的分类及其生育特性[J]. “中华水土保持学报”, 1981, 7(2): 150- 163
- [8] 梁升, 张敬昌 山坡地槟榔园水土保持试验调查规划[R]. 中兴大学农学院水土保持学系, 1992
- [9] 黄万传, 潘添进, 钟震东 台湾地区槟榔产业之经济研究[Z]. 屏东农业专科学校经济科 1990 1- 52
- [10] Wolfgang Boehm. Method of studying root systems[M]. [s.l.]: Springer- Verlag, 1979 5- 18
- [11] Pritchett, W. L. Properties and management of forest soils[M]. [s.l.]: John Wiley & Sons, 1977. 37- 45
- [12] Russell, R. S. Plant root system [M]. U.K.: McGraw Hill Book Company Limited, 1977. 19- 29
- [13] Waldron, L. J. The shear resistance of root-pemteated homogenous and stratified soil[J]. Soil Science Am. J., 1977, 41: 843- 849
- [14] Chaudary, M. R., S. S. Priher. Root development and growth response of corn following mulching cultivation or interrow compaction[J]. Agron J., 1974, 66: 350- 355
- [15] Kozłowski, P. J., W. H. Scholtes. Growth of root and root hairs of pine and haredwood seedings in the piedmond[J]. J. Forestry, 1948, 46: 750- 754
- [16] Ethan, C. H., F. L. Fisher. Root development of coastal Bermuda grass with high nitrogen fertilization[J]. Agron. J., 1960, 52: 593- 595
- [17] Baker, C. E. The rooting habit of grimes apple trees under different system of soil management[J]. Pro. Am. Soc Hort Sci., 1974, 45: 167- 172
- [18] Doll, C. C. Apple tree root development in terraced loess soil[J]. Pro. Am. Soc Hort Sci., 1961, 78: 1- 7.
- [19] Adriance, G. W., Hampton, H. E. Root distribution in citrus, as influenced by enviroment[J]. Proc Am. Soc Hort Sci 1949, 53: 103- 108
- [20] Beard, F. H. Root studies: the root-systems of hops on different soil types[J]. J. Pomol Hort Sci, 1943, 20: 147- 154
- [21] 青野英也, 筑濑好充, 田中静夫 茶树根群的发达及土壤保全机能(第二报)[J]. 日作纪, 1981, 50(2): 164- 168
- [22] 番场宏治, 大久保隆弘 烟作物的根系分布与收量的相对关系(第三报)[J]. 日作纪, 1981, 50(1): 1- 7.

---

(上接第 112 页)

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院黄土高原综合考察队 黄土高原地区综合治理开发简要报告集[R]. 北京: 中国经济出版社, 1992 192- 193
- [2] 杨文治 黄土高原土壤水资源与植树造林[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 433- 438
- [3] 中科院黄土高原综合考察队 黄土高原地区农业气候资源图集[M]. 北京: 气象出版社, 1990 1- 6
- [4] 蒋定生, 等 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. 106- 108
- [5] 李文华, 李飞 中国森林资源研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996 15- 30
- [6] 柴宗新, 范建容 金沙江干热河谷植被恢复的思考[J]. 山地学报, 2001, 19(4): 381- 384
- [7] 贺庆棠 中国森林气象学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 212- 218
- [8] 韦省民 从自然地理学角度看黄土高原历史地理研究——以森林变迁为例[A]. 见: 陈明荣, 李治武, 陈宗兴主编 黄土高原地理研究[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1987. 52- 59
- [9] 山仑 西北半干旱地区实现退耕还林还草的条件与措施[A]. 见: 中国林学会主编 西北生态环境论坛[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 88- 91.
- [10] 袁嘉祖, 闵庆文 水是西北地区生态系统重建的根本[J]. 自然资源学报 2001, 16(6): 511- 515
- [11] 陈明荣 黄土高原的干旱特点[J]. 西北大学学报, 1983, (1); 或见: 陈明荣, 李治武, 陈宗兴主编 黄土高原地理研究 [M]. 西安: 陕西人民出版社, 1987. 24- 32
- [12] 侯庆春, 韩蕊莲 黄土高原植被建设中的有关问题[J]. 水土保持通报, 2000, 20(2): 53- 56
- [13] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226 - 231
- [14] 张殿发, 张祥华 西部地区退耕还林急需解决的问题及建议[J]. 中国水土保持, 2001, (3): 9- 11.