

旱坡地“作物- 植物篱”系统能流特征研究

陈 一兵¹, 林超文¹, 黄晶晶¹, 李占 斌^{2,3}

(1. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 四川 成都 610066;

2. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 通过连续 2 年的定位试验, 对坡度为 8- 20° 的旱坡地“作物- 植物篱”系统能流特征如能结构、能效率进行了研究, 结果表明: ① / 作物- 植物篱”系统产出能和输入能的数量和结构的变化主要受到植物篱子系统类型的影响。与大面积旱坡地传统农作物生产系统如“小麦/ 花生(或玉米) / 甘薯”比较: 由于果树、草本等植物篱的冠层及根系在形态和空间分布上与作物的异质性, 形成了对光、热、水、土、肥等资源的连续、多层次的利用, 因此能有效提高系统的光能利用率、人工输入能效率, 耕地单位面积总产出能也会增加, 坡度越大, 相对增幅亦越大; 由于能极显著减少无机能施入量, 这有利于降低化肥农药使用量, 减少对环境的污染和破坏。④作物- 果树类植物篱”系统输入能总量和有机能输入量大幅度增加, 因此有利于优化输入能结构, 促进坡地生态系统良性循环和集约高效农业发展。④作物- 草本植物篱”系统人工辅助能的输入量大幅度下降, 由于它所需投入能少, 有机能耗和无机能耗均低, 人工输入能效率很高而生物产量也较高, 并且它们提高了与其间作的其他作物的能量产投比, 因此提升了整个系统能量产投比率; 由于保水固土的生态功能显著, 使它能在四川广大山地、丘陵区退耕还林还草工程中发挥重要作用。

关键词: 旱坡地; “作物- 植物篱”系统; 能结构; 能效率

中图分类号: S311

文献标识码: A

文章编号: 1005- 3409(2007) 02- 0171- 05

Study on the Energy Flow Characteristics of
“Crop- Hedgerow” System on Sloping Land

CHEN Yi-bing¹, LIN Chao-wen¹, HUANG Jing-jing¹, LI Zhan-bin^{2,3}

(1. Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;

2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: the energy flow characteristics of “crop- hedgerow” system, such as the structure and the efficiency of the energy flow of system on slopping land was studied for 2 years. There are 3 main conclusios. ① Quantity and structure change of output and input energy of “crop- hedgerow” system is affected mainly by the type of hedgerow subsystem. In comparison with the traditional production system on slopping land, for instance, wheat / peanut or corn / sweet potato system: there is difference between hedgerows (including fruit tree, herb etc.) and the crop in shape and space distribution of crown and root so that the natural resources of light , heat , water and soil are utilized continuously in time and in space , which enhance photo energy utilization efficiency , input labour energy utilization efficiency and total output energy per unit area, with more positive effect on steeper slopping land. Because the input inorganic energy of “crop- hedgerow” system was reduced significantly, the quantity of chemical fertilizer and pesticide can be reduced, resulting environment protection. ④The total input energy (including organic energy) of hedgerow system of “crop- fruit” type is increased, which is useful for improving input energy structure and ecosystem, and enhancing intensive agriculture development. ④“Crop- herb” hedgerow system can reduce input labour energy, decrease input energy and input energy consumption greatly, resulting in increasing the input labour energy utilization efficiency and biomass, energy out-input ratio of inter-planted crops. It conserves water and soil, playing an important role in agricultural reform in vast mountainous and hilly area in Sichuan.

Key words: slopping land; “crop- hedgerow” system; energy structure; energy efficiency

* 收稿日期: 2006- 06- 20

基金项目: 农业部科技跨越计划项目“ 长江上游经济植物篱农作保护利用坡耕地的试验示范”

作者简介: 陈 一兵(1960-), 男, 研究员, 主要从事土壤侵蚀和农业环境保护研究。

1 引 言

作物能效率和能结构是能流系统最重要的基本特征, 是农田生态系统研究中的一个重要领域。探索植物篱能系统特征, 有助于阐明在生长发育上植物篱和作物群体间的相互拮抗和协同关系; 通过能流系统调控, 促进农田生态系统的良性循环和农业生产要数组合优化。迄今为止, 在农业生态系统能流研究领域人们业已做了大量工作^[1~3], 但有关对植物篱系统能流特征的研究尚未见有报道。在四川盆地中部紫色丘陵雨养农区, 占总耕地面积的 2/3 以上的旱坡地水土流失严重, 而在旱坡地上进行植物篱建设, 能有效保持水土, 提高农耕地生产力^[4~6]。通过对“作物- 植物篱”系统能流效率和结构研究, 明确其生长发育规律和产量形成机理, 有助于明确植物篱作用机理、挖掘植物篱潜力, 协调间种套作的作物群体的拮抗、协同关系, 调整优化输入能水平和结构, 促进旱坡地种植模式及配套技术改良和优化, 减少环境污染, 改善农田生态系统, 促进农业生产持续、稳定发展。

2 材料与方法

2.1 研究区域概况

四川盆地紫色丘陵雨养农区属亚热带湿润气候, 年降水量 1 000 mm 左右, 但时空分布不均, 因此干旱频繁, 加之地势起伏大, 故水土流失十分严重。该区垦殖指数高达 40.8%, 而全省仅为 13.5%; 土地资源的人口负载量也较高, 为 565 人/ km², 比全省平均数高 3.21 倍。研究区域位于紫色土集中分布的盆中丘陵区资阳市响水村流域, 该流域属于沱江水系, 位于成都东南 90 km 处; 年太阳辐射能为 37 620× 10⁶ J/ km², 年均温 17.3℃, 无霜期 280 d 以上; 20 cm 深的土层年均温为 19.7℃; 年降水 961.3 mm, 5~ 10 月暴雨频繁, 此时段降水量约占总降水量的 80%。土壤类型以侏罗纪遂宁组母质发育的棕棕紫泥为主, 质地砂壤。旱坡地大宗作物主要种植模式为小麦套种玉米套种甘薯(简称麦玉薯), 麦花(花生) 薯, 麦瓜(西瓜) 薯等。

2.2 试验设计

试验地点在资阳市四川省农科院水保站内。小区面积

为 7 m× 20 m, 各处理间由水泥预制板隔开, 除各对照(CK) 处理为顺坡开厢(当地农民传统种植方式), 其余处理皆为横坡等高种植, 植物篱种植带宽 1 m, 篱间作物种植带采用 2 m 开厢对半开轮作。

1 号试验地坡度为 20°, 共计 4 个处理: (1) 麦花薯+ 枣; (2) 麦花薯+ 香根草; (3) 麦花薯(CK); (4) 麦花薯+ 紫穗槐。2 号试验地坡度为 13.5°, 共计 3 个处理: (1) 麦玉薯+ 小冠花; (2) 麦玉薯(CK); (3) 麦玉薯+ 紫穗槐。3 号试验地坡度为 8°, 共计 4 个处理: (1) 麦玉薯+ 香椿; (2) 麦玉薯+ 梨/ 黄花; (3) 麦玉薯(CK); (4) 麦玉薯+ 枇杷/ 黄花。

2.3 调查方法

详细记载各小区各作物投工、投肥、投药量和其他所有农事活动, 并收集、测定枯枝落叶重量。各小区植物篱间种植的作物收获时, 对茎叶和籽粒分别称重, 然后各取样 2 kg 和 0.5 kg, 置于烘箱内在 80℃ 下烘 2 h, 其间翻动 2 次, 然后升至 105℃ 烘 6 h 称重, 以此算出小区经济产量和生物产量^[7]。并根据折能系数计算收获物各部分含能量^[8], 通过计算机运算和统计分析研究系统能流结构和能效率^[9,10]。

3 结果与分析

3.1 “作物- 植物篱”系统产出能分析

根据各小区生物产量和经济产量, 计算出各系统产出能(见表 1)。

从表 1 可以看出, 坡度为 8~ 20° 的旱坡地种植植物篱后, 耕地生产系统产出能会提高, 且产出能结构会发生变化:

(1) 当植物篱纳入生产体系后, 耕地单位面积总产出能有较大幅度提高, 1 号地增幅为 9.8%~ 24.6%, 2 号地和 3 号地增幅为 1.2%~ 15.61%, 可见随着坡度增加, 产出能增幅有提高趋势, 换言之, 植物篱对系统产出能贡献率亦随坡度增加而增大, 究其原因, 随着坡度增加, 水土流失加剧, 植物篱的生态功能得以充分发挥; 另外, 由于耕作位移和耕作侵蚀在有经济植物篱情况下能加速梯台地形成, 从而改变土层厚度提变保水能力^[11~13], 最终导致总产出能提高。因此, 尽管它播幅所占比重小, 但对全田产出能水平有重大影响。

表 1 “作物- 植物篱”系统产出能分析 10J/ hm²

试验地	小区号	作物产出能/ N ₁				植物篱产出能/ N ₂				总产出能/ P	±/ %
		主产物	副产物	小计	N ₁ / P	主产物	副产物	小计	N ₂ / P		
iv	1	55259	51434	106693	0.746	21381	15023	36404	0.254	143097	9.8
	2	57489	54806	112295	0.691	50150		50150	0.309	162445	24.6
	3	65720	64639	130359	1.000				0	130359	0
	4	53173	48456	101629	0.679	48000		48000	0.321	149629	14.8
㊦	1	106121	95449	201570	0.862	32142		32142	0.138	233712	7.5
	2	113920	103498	217418	1.000				0	217418	0
	3	104743	93573	198316	0.885	25893		25893	0.115	224209	3.1
㊧	1	113272	101110	214382	0.926	4285	12858	17143	0.074	231525	1.2
	2	119064	105562	224626	0.849	24362	15570	39932	0.151	264558	15.6
	3	122623	106204	228827	1.000				0	228827	0
	4	106526	95376	201902	0.840	25357	13176	38533	0.160	240435	5.07

(2) 植物篱类型使产出能结构发生改变, 如 1 号地坡度大, 耕地生产力相对低下, 因此种植植物篱特别是生物产量很高的香根草等时, 各小区传统作物产出能占总产出能比率从 100% 下降到 67.9%~ 74.6%, 植物篱产出能相应占到 25.4%~ 32.1%; 而 2 号地和 3 号地虽然种植了与 1 号地相同面积的植物篱, 但传统作物产出能仅从 100% 下降到 86.2%~ 92.6%。探其究竟, 是因为在较高坡度时, 作物生长限制因素很多, 产量潜力难以充分发挥, 因此只要选择适应性强、生物产量高的植物篱, 就会使作物产出能占总产出能比率下降。而低坡度旱地土层深厚, 水肥条件较好, 这样, 一方面导致作物生产系统稳定性

强,另一方面,作物的边际效应和群体优势得以充分发挥,故产出能变幅小,在总产出能中所占比率变幅也小。

3.2 “作物– 植物篱” 系统输入能分析

输入能数量和结构的变化主要受到植物篱类型的影响,而受坡度影响较小(见表 2)。

(1) 当耕作模式中纳入与麦、玉、薯、花生等作物在生物学特性上差异较大的植物如枣、梨、枇杷等果树时,输入能总量大幅度增加,输入能的大量增加主要是因为有机能输入的大量增加,例如,1 号地 1 小区“作物– 枣”系统输入能和有机能分别增加 21.6% 和 69.8%,3 号地 2 小区“作物– 梨/黄花”系统分别增加 43.7% 和 146.1%,4 小区“作物– 枇杷/黄花”系统分别增加 43.5% 和 146.2%;有机能的增加是因为栽种果树需要施入大量有机肥,果树尤其是落叶果树的枯枝落叶也是重要的有机肥源;与此同时,无机能的输入量却大幅度下降,种枣小区下降 31.3%,种香椿、“梨间作黄花”、“枇杷间作黄花”分别下降 39.6%、30.2% 和 30.0%;显而易见,作为植物篱的果树提高了有机肥施用量,优化了输入能

结构,对于促进坡地生态系统良性循环、促进农业生产持续稳定发展具有十分重要的意义^[14];

(2) 1 号地 2 小区的香根草和 4 小区的紫穗槐、2 号地 1 小区的豆科牧草小冠花和 3 小区的紫花苜蓿等绿肥饲草作物作为植物篱栽培时,由于它们具有根系发达、抗逆耐瘠、耐粗放栽培的特点,因此能使系统人工辅助能的输入大幅度下降,与对照相比,有机能下降 20.6%~ 30.0%,无机能下降 40.5%~ 41.0%,正是由于它所需投入能少和显著的保水固土的生态功能,使它能在四川广大山地、丘陵区退耕还林还草工程中发挥重要作用;

(3) 与传统复种轮作制如 1 号地对照“麦花(生)薯”和 2、3 号地对照“麦玉薯”比较,所有具有植物篱的种植模式都能极显著减少无机能施入量,减幅达 30.0%~ 41.0%。目前,由于化肥、农药不合理的大量使用,造成了越来越严重的环境污染和生态系统破坏^[15,16]。通过种植模式优化带动输入能结构调整,促进配方施肥和有机肥使用,这有利于降低化肥农药使用量,减少对环境的污染和破坏。

表 2 “作物– 植物篱” 系统输入能分析

试验地	小区号	项目	有机能 M_1				无机能 M_2				年太阳 辐射能	输入能 T_i	
			种子	人工	有机肥	小计	机械	化肥	农药	小计		总量	±%
iv	1	总和	10160	9521	85711	105392	2667	23339	2219	28225	37620	171237 (T_1)	21.6
		作物	10160	8091	21509	39762	2205	19566	1913	23684	30096	93542(T_2)	
		植物篱	0	1430	64202	65632	462	3773	306	4541	7524	77695 (T_3)	
	2	总和	10160	8468	26150	44778	2505	19904	2066	24475	37620	106873 (T_1)	- 24.1
		作物	10160	8091	14000	32251	2205	19566	1913	23684	30096	86031 (T_2)	
		植物篱	0	377	12150	12527	300	338	153	791	7524	20842 (T_3)	
	3	总和	20319	13755	28000	62074	4400	33263	3443	41106	37620	140800 (T_1)	0
		作物	20319	13755	28000	62074	4400	33263	3443	41106	37620	140800 (T_2)	
		植物篱	0	377	12150	12527	300	338	153	791	7524	20842 (T_3)	
	4	总和	10160	8468	30696	49318	2505	19904	2066	24475	37620	111413 (T_1)	- 20.9
		作物	10160	8091	29428	47679	2205	19566	1913	23684	30096	101459 (T_2)	
		植物篱	0	377	15268	15645	300	340	153	793	7524	9954 (T_3)	
㊸	1	总和	5597	8844	30000	44441	2823	29218	2448	34489	37620	116550 (T_1)	- 24.0
		作物	5597	8468	24000	38065	2520	29069	2295	33911	30096	102072 (T_2)	
		植物篱	0	376	6000	6376	303	149	153	605	7524	14478 (T_3)	
	2	总和	11193	14395	32000	57588	4900	49417	3902	58219	37620	153427 (T_1)	0
		作物	11193	14395	32000	57588	4900	49417	3902	58219	37620	153427 (T_2)	
		植物篱	0	376	6000	6376	300	149	100	549	7524	14452 (T_3)	
	3	总和	5597	8844	25893	40334	2823	29218	2395	34436	37620	112390 (T_1)	- 26.8
		作物	5597	8468	19893	33958	2520	29069	2295	33884	30096	97938 (T_2)	
		植物篱	0	376	6000	6376	300	149	100	549	7524	14452 (T_3)	
	4	总和	5597	9221	43436	58254	2979	29595	2601	35175	37620	131049 (T_1)	- 14.6
		作物	5597	8468	23143	37208	2520	29069	2295	33884	30096	101188 (T_2)	
		植物篱	0	753	20293	21046	459	526	306	1291	7524	29861 (T_3)	
㊹	1	总和	5597	13737	122884	142218	3070	34356	3213	40639	37620	220477 (T_1)	43.7
		作物	5597	8468	23385	37450	2520	29069	2295	33884	30096	101430 (T_2)	
		植物篱	0	5269	99499	104768	550	5287	918	6755	7524	119047 (T_3)	
	2	总和	11193	14395	32000	57588	4900	49417	3902	58219	37620	153427 (T_1)	0
		作物	11193	14395	32000	57588	4900	49417	3902	58219	37620	153427 (T_2)	
		植物篱	0	5269	99499	104768	550	5287	918	6755	7524	119047 (T_3)	
	3	总和	5597	13304	122884	141785	3070	34635	3060	40765	37620	220170 (T_1)	43.5
		作物	5597	8468	23386	37451	2520	29069	2295	33884	30096	101431 (T_2)	
		植物篱	0	4836	99498	104334	550	5566	765	6881	7524	118739 (T_3)	

3.3 “作物– 植物篱” 系统能效益分析

3.3.1 各植物篱系统能量转化效率分析

在生态系统初级生产中,植物将有效光辐射能转化为生

物能的效率称为光能利用率,因此,光能利用率是系统生产过程和结果的综合反映,是能流系统的基本特征,是衡量能效率的核心指标。由于植物篱保水固土,为作物高效利用光

能创造了有利条件,同时,由于乔木类果树、匍匐型草本等植物篱的冠层及根系在形态和空间分布上与作物的异质性,形成了对光、热、水、土、肥等资源的连续、多层次的利用^[17,18],因此,植物篱能有效提高坡地“作物-植物篱”系统的光能利用率,也就是说,系统能流朝着有利于生物产量形成方向进行。本项研究表明:对于四川盆地丘陵雨养农区旱坡地,无论草本或木本植物作植物篱,皆可提高耕地光能利用率($P/s.r$),其中香根草模式提高 24.62%,紫穗槐模式提高 14.78%,梨间作黄花模式提高 15.60%。

农业生产系统在很大程度上是人工调控系统,在不牺牲系统健康的前提下,尽可能的提高产投比是人们不懈追求的目标。能量产投比反映了系统对投入能转化为生物能的效率。本项研究发现:

(1) 当选择香根草、紫穗槐、小冠花、紫花苜蓿作为植物篱构成“作物-草本植物篱”系统时,由于它们生长所需的投入能较少而生物产量又较高,因此提升了整个系统能量产投

比率(P/T_1),它们的产投比增幅分别高达 64.15%、45.03%、41.50%、40.79%;对草本植物篱功能作进一步分析,可以看到它们提高“作物-植物篱”系统能量产投比的另一途径,这就是它们提高了与其间作的其他作物的能量产投比(N_1/T_2),其增幅分别为 40.93%、8.21%、39.38%、42.91%。

(2) 当选择枣、梨和枇杷作为植物篱构成“作物-果树植物篱”系统时,由于栽种果树能量(主要是有机肥能)投入高,而果树又因尚未进入盛果期产量水平也不高,而果树本身又必须占据一部分生存空间,因此不仅果树系统能量产投比(N_2/T_3)低,而且导致整个系统能量产投比(P/T_1)下降,其降幅分别是 9.7%、19.52%、26.76%;但是,由于果树导致整个系统输入能大幅度增加,这为与其间作的作物生长发育提供了良好的条件,使作物系统的能量产投比(N_1/T_2)大幅度提高,增幅分别达到 23.22%、48.56%、33.53%。由于果树植物篱系统光能利用率较高,故随着果树渐入盛果期,总能产投比(P/T_1)理应逐年提高。

表 3 “作物-植物篱”系统能量转化效率分析

试验地		iv				㊟			㊿			
小区号		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
$P/s.r$	比值	3.804	4.318	3.465	3.977	6.212	5.779	5.960	6.154	7.032	6.083	6.319
	±/%	9.78	24.62	0	14.78	7.49	0	3.13	1.17	15.60	0	5.06
P/T_1	比值	0.836	1.520	0.926	1.343	2.005	1.417	1.995	1.767	1.200	1.491	1.092
	±/%	-9.7	64.15	0	45.03	41.50	0	40.79	18.51	-19.52	0	-26.76
N_1/T_2	比值	1.141	1.305	0.926	1.002	1.975	1.417	2.025	2.119	2.215	1.491	1.991
	±/%	23.22	40.93	0	8.21	39.38	0	42.91	42.12	48.56	0	33.53
N_2/T_3	比值	0.469	2.406		4.822	2.220		1.792	0.574	0.335		0.325

注: P : 总产出能; N_1 : 作物产出能; N_2 : 植物篱产出能; T_1 : 总输入能; T_2 : 作物系统输入能; T_3 : 植物篱系统输入能。下表同。

3.3.2 “作物-植物篱”系统有机能、无机能能耗分析

对植物篱系统每单位产出能所耗有机能(M_1/P)、无机能(M_2/P)分析发现:

(1) 有机能耗(M_1/P)以“作物-果树”类植物篱系统为高类水平,如 1 号地“作物-枣”系统、3 号地“作物-梨/黄花”系统和“作物-枇杷/黄花”系统均比各自对照高 54.83%、

113.49%、134.13%;而以“作物-草本或绿肥”类系统为低类能耗水平,如 1 号地“作物-香根草”系统和“作物-紫穗槐”系统、2 号地“作物-小冠花”系统和“作物-紫花苜蓿”系统,均比各自对照低 42.02%、30.67%、28.30%、32.08%。

(2) 各类“作物-植物篱”系统无机能能耗水平均低于对照,下降幅度为 33.07% - 52.06%。

表 4 “作物-植物篱”系统有机能(M_1)、无机能(M_2)能耗分析

试验地		iv				㊟			㊿			
小区号		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
M_1/P	比值	0.737	0.276	0.476	0.330	0.190	0.265	0.180	0.252	0.538	0.252	0.590
	±/%	54.83	-42.02	0	-30.67	-28.30	0	-32.08	0	113.49	0	134.13
M_2/P	比值	0.197	0.151	0.315	0.164	0.148	0.268	0.154	0.152	0.154	0.254	0.170
	±/%	-37.46	-52.06	0	-47.94	-44.78	0	-42.54	-40.16	-39.37	0	-33.07

注: M_1 - 有机能输入量; M_2 - 无机能输入量。

对耗能水平(X)与输入能水平(Y)作回归、相关分析,有:

回归方程

$Y_{\text{总输入能}} = 9032 + 171675X_{\text{有机能耗}} \quad t = 3.13$

$Y_{\text{总输入有机能}} = 10137 + 169402X_{\text{有机能耗}} \quad t = 13.45$

$Y_{\text{总输入无机能}} = 13841 + 125964X_{\text{无机能耗}} \quad t = 2.47$

无机能能耗与总输入能水平之间回归、相关关系不显著。

在农业生产中,“报酬递减”规律普遍存在,如肥料施用越多,损失越大,利用率越低^[19]。由于“作物——植物篱”系统单位产出能能耗与有机能和无机能输入量呈显著回归、相关关系,特别是有机能能耗与总有机能输入量呈极显著回归相关关系,因此,生产上对于能量输入一定要考虑能耗问题,特别要考虑在施入的有机肥中,究竟有多少为植物生长所必需,有多少因为流失而成为真正意义上的省耗。只有在对能耗过程深入了解基础上,才能针对不同的土壤、气候、作物、

回归关系 t 测验

相关系数

$t_{0.05,9} = 2.26$, 回归关系显著) $r = 0.7214$;

$t_{0.01,9} = 3.250$, 回归关系极显著) $r = 0.7214$;

$t_{0.05,9} = 2.26$, 回归关系显著) $r = 0.6364$;

坡度、复种轮作制度等,科学地确定有机能最适输入量,达到高效低耗的目的。这是植物篱研究中一个有待解决的重要问题。

3.3.3 “作物-植物篱”系统人工输入能效率分析

系统能效率直接决定着劳动生产率高低,它事实上决定着生产者对它的接受程度,直接影响“作物——植物篱”系统的建设和普及,因为随着农村人口向城镇的逐渐转移,如何用有限的劳动力获得尽可能多的产品,越来越受到人们的关注和考虑。

表 5 “作物- 植物篱”系统人工输入能(L_i) 效率分析

试验地		iv				㊟			㊿			
小区号		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
P/L_1	比值	15. 03	19. 18	9. 48	17. 67	26. 43	15. 10	25. 35	25. 11	19. 26	15. 90	18. 07
	±/ %	58. 54	102. 32	0	86. 39	75. 03	0	67. 88	57. 92	21. 13	0	19. 75
N_1/L_2	比值	13. 18	13. 87	9. 48	12. 56	23. 80	15. 10	23. 42	25. 32	26. 53	15. 90	23. 84
	±/ %	39. 03	46. 31	0	32. 49	57. 62	0	55. 10	59. 25	66. 86	0	49. 94
N_2/L_3	比值	25. 46	133. 02		127. 32	85. 48		68. 86	22. 77	7. 58		7. 97

注: L_1 - 总人工输入能; L_2 - 作物系统人工输入能; L_3 - 植物篱系统人工输入能。

通过研究分析, 得到主要结果如下:

(1) 就整个“作物- 植物篱”系统而言, 其人工输入能效率(P/L_1) 均比作为纯粮食作物的对照高, 特别是“作物- 草本植物篱”系统, 能效率提高幅度达 67. 88% ~ 102. 32%。

(2) 进一步对“作物- 植物篱”系统的作物子系统作考察, 在栽培植物篱后, 坡度较大的 1、2 号试验地人工输入能效率(N_1/L_2) 提高 32. 49% ~ 57. 62%, 坡度较小的 3 号试验地人工输入能效率(N_1/L_2) 提高 49. 94% ~ 66. 86%, 要特别说明的是, 在这里提高幅度的差异并不表明低坡度植物篱水土保持效果高于高坡度, 而恰恰相反, 坡度越高, 效果越好, 植物篱水土保持潜力越能得以充分发挥。但问题是植物篱除了具有水土保持功能以外, 它的冠层(地上部分) 还与作物冠层发生着相互影响, 由于两者冠层在结构、空间分布、生育特性、农艺栽培管理等诸多方面存在差异, 因此在空间资源享用上互补协同增加, 竞争拮抗减小^[17, 18, 20]。这样, 对于高坡度耕地, 土层瘠薄干旱, 是植物生长的主要限制因子, 植物篱水土保持作用成为主导因素, 而对于低坡度耕地, 冠层互补协同作用成为主导因素。显而易见, 尽管 1、2 号试验地植物篱发挥着显著的水土保持作用, 但还不足以将其肥力提高到与 3 号试验地相当的水平, 在这种情况下, 3 号地作物小麦、玉米、甘薯充分利用植物篱种植带为其提供的通风透光条件, 利用“边际效应”促进生物产量形成, 从而提高了人工输入能效益。

(3) 作为“作物- 植物篱”系统的子系统, 尤其是香根草、紫穗槐、小冠花、紫花苜蓿, 其人工输入能效率(N_2/L_3) 极高, 比值分别达到 133. 02%, 127. 32%, 85. 48% 和 68. 86%, 从而导致“作物- 草本植物篱”系统人工输入能效率大幅度提高; 而由于幼龄果树植物篱生物产量、经济产量低, 故系统人工输入能效率亦低于草本植物篱, 特别是 3 号试验地黄花植物篱, 花工多而产量较低, 因而 N_2/L_3 比值低。

4 讨论与小结

“在作物- 植物篱”系统中, 植物篱的作用是全面而深刻的, 它改变了旱坡地传统农作制的结构和模式, 以及传统农田生态系统功能和特征。它通过对系统的平衡和协调, 达到生态效益、社会效益、经济效益的有机统一。在这三个效益中, 社会效益和经济效益为系统的最终输出, 是作用的结果, 而生态效益更体现为一种系统间的相互影响, 是作用的过程。通过对系统能流特征的研究和分析, 可将植物篱的作用

归纳为三个效应: (1) 自身效应 如通过自身根系固土保水, 通过冠层覆盖减小土壤蒸发和作物蒸腾从而改变系统的温度、湿度、水分等状况^[12, 21], 通过自身与传统大田作物的异质性来提高系统物种丰富度和结构复杂性, 从而提高系统稳定性等; (2) 间套作效应 植物篱和与其间套作的作物由于相互间拮抗、协同作用, 改变了各自原来在净作条件下的“源”、“流”、“库”动态模式; 植物篱正是通过影响同田间作的农作物生长发育, 从而在空间上拓展了自身对整个系统的影响; (3) “篱笆效应” 因为植物篱的存在, 借助耕作位移动、耕作侵蚀及土壤自然位移, 梯田地形成加速, 从而改变土层厚度最终改变系统结构^[12, 22]。

因此, 植物篱的作用过程总是伴随系统的结构改变和物流改变, 所以必然会导致能流特征的改变:

(1) 当植物篱纳入生产体系形成新的“作物- 植物篱”系统后, 会提高耕地单位面积总产出能, 坡度越大, 相对增幅亦越大, 并且植物篱子系统产出能占总产出能的比率亦越大;

(2) “作物- 植物篱”系统输入能数量和结构的变化主要受到植物篱子系统类型的影响, 而受坡度影响较小。果树类植物篱会使整个系统输入能总量和有机能输入量大幅度增加, 因此有利于优化输入能结构, 促进坡地生态系统良性循环。草本植物篱能使整个系统人工辅助能的输入大幅度下降, 由于它所需投入能少, 保水固土的生态功能显著, 使它能在四川广大山地、丘陵区退耕还林还草工程中发挥重要作用。与传统复种轮作制如“麦花(生) 薯”、“麦玉薯”比较, “作物- 植物篱”系统都能极显著减少无机能施入量, 这有利于降低化肥农药使用量, 减少对环境的污染和破坏。

(3) 在“作物- 植物篱”系统中, 由于果树、草本等植物篱的冠层及根系在形态和空间分布上与作物的异质性, 形成了对光、热、水、土、肥等资源的连续、多层次的利用, 因此能有效提高系统的光能利用率, 人工输入能效率也有提高。在“作物- 草本植物篱”系统中, 由于它们生长所需的投入能较少、有机能耗和无机能耗均低、人工输入能效率很高而生物产量也较高, 并且它们提高了与其间作的其他作物的能量产投比, 因此提升了整个系统能量产投比率。在“作物- 果树植物篱”系统中, 由于栽种果树能量投入多, 而且有机能耗又高, 果树又因尚未进入盛果期产量水平也不高, 因此能量产投比低, 但由于果树植物篱系统光能利用率较高, 故随着果树渐入盛果期, 总能产投比理应逐年提高。

[1] 张希彪. 陇东黄土旱塬农业生态系统能流特征研究[J]. 中国农学通报, 2002, 18(1): 82- 92.
[2] 魏小红, 蔺海明, 胡觉恒. 甘肃河西地区农田生态系统能量投入产出效率分析[J]. 草业学报, 2001, 10(3): 79- 84.
[3] 叶旭君, 王兆骞. 浙江省德清县农田生态系统能量投入的优化[J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2081- 2088.
[4] 张建华, 赵燮京, 林超文, 等. 川中丘陵坡耕地水土保持与农业生产的发展[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 81- 84.
[5] 邓良基, 凌静, 张世熔, 等. 四川旱耕地生产、生态问题及水土流失综合治理研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 8- 11.
[6] 陈一兵, 林超文, 朱钟麟, 等. 经济植物篱种植模式及其生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 80- 83.

用水,保持一定分额的生态用水,以达到水资源的可持续利用;城镇和工矿发展必需增加的用水量除少数地区由外流域适当调水外,大部地区原则上由农业用水有偿转移,并提高水的回收利用率。

3.1 外流河流域水资源配置

外流河流域的降水首先为当地的植被耗用,剩余的才形成可供开发的地表径流和地下水。水资源配置的顺序是:当地植被耗水,当地社会经济用水,最后形成干流出境的径流供中下游地区使用。经济社会用水的内部配置为:农田灌溉用水应大力节约并逐步压缩;城镇和工矿发展必需增加的用水量除少数地区由外流域适当调水外,大部地区原则上由农业用水有偿转移,并逐步提高水的回收利用率。

3.2 内陆河流域水资源配置

内陆河流域首先保证河流下游生态环境的耗水,使下游的生态环境和上中游的社会经济系统合理分享水资源。按社会经济平均耗水率为用水量的 70% 折算,今后内陆河流域用水量的最高开发利用率应不超过 70%,同时确保生态环境的耗水不低于水资源总量的 50%^[2,3,4]。这一地区水资源的开发利用既要考虑灌水,又要考虑保水;既要节水,也要调水。在用水的次序上先满足居民生活用水和生态用水,再满足工业用水,最后供给农业。同时,要明确这一地区以灌、草为主的植被建设方针,在植被的生态建设上充分利用草原生态系统的自我修复能力,尽可能地恢复重建已被破坏的自然生态环境。

黑河流域通过行政、经济等手段实行严格的水量统一调配方案,从提高用水效率入手,退耕、改造低产田,在 2010 年前落实国务院黑河分水方案,使正义峡下泄水量逐步达到 9.5 亿

m³,以保护和恢复下游额济纳旗天然绿洲植被,适当恢复尾间东居延海的水面,兴建黑河正义峡水库和昌马水库^[1,3,5,6]。

适当调整石羊河分水方案,实现流域内的水资源总量基本平衡,不再超采并回补地下水,并在下游民勤地区强制实行节水,以保证下游民勤地区经济发展和维护良好生态环境,在基本不移民的条件下,力争红崖山水库年均入流量不少于 2 亿 m³,同时向尾间青土湖补水,这要求该流域生态用水至少保证 8.5 亿 m³^[1,3,5,6]。

疏勒河流域近期要控制下游地区地下水位不再下降,遏制沙漠化的发展,至少需要保持天然生态耗水量 4.0 亿 m³;中期适当恢复尾间西大湖的水面,确保整个下游区的天然生态不再恶化并有所恢复,约需增加生态需水 3.5 亿 m³;同时,要加大引水能力,发展旱排,保障移民的生产稳定;并实施疏勒河农业灌溉工程^[1,3,5,6]。

总之,区域水资源的合理配置应是一种面向生态的水资源配置,通过合理利用水土资源,不仅可以保护生态环境,还可以改善生态环境。为此,首先合理配置生产、生活和生态用水,重点保障城市、生活、工业用水;在基本稳定农业用水总量的前提下,通过采用节水灌溉等措施有限增加农业灌溉面积,增加生态用水,初步建立地区水资源合理配置的格局^[7]。同时,加强现有水利工程建设,配套、改造和转变水资源利用方式,提高用水效率,并兴修一批对经济发展影响大,社会效益,特别是环境效益好的事关全局的水源工程和跨地区跨流域调水工程,解决严重缺水地区的供水问题,基本形成一个大中城市供水水源稳定、乡镇自来水普及率提高、农业和生态环境用水得到保证的供水体系。

[1] 郑永山. 试论 90 年代甘肃水资源状况[J]. 发展专辑, 2001, (9): 34– 37.

[2] 中国水利水电科学研究院. 面向生态经济建设的西北水资源合理配置模式[EB/OL]. http://www.cws.net.cn/CWR_Journal/200004/05.html.

[3] 西北地区水资源及其供需发展趋势分析“水资源”课题组. 西北地区水资源配置生态经济建设和可持续发展战略研究项目综合报告[EB/OL]. <http://www.hwcc.com.cn>.

[4] 中国工程院. 加快西北地区发展的几个关键问题[EB/OL]. www.cas.cn/html/booles/06121/b1/2000/5-2.htm.

[5] 郑宝宿. 浅谈西部大开发与甘肃水资源开发利用[J]. 甘肃水利水电技术, 2000, (1): 6– 9.

[6] 中国工程院“西北水资源”项目组. 西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究项目综合报告[R]. 2003.

[7] 邸利, 冀学诚, 白云祥. 甘肃省天水市水资源综合利用研究[J]. 资源与环境发展, 2005, 6(1): 42– 48.

(上接第 175 页)

[7] 广东省农业科学院. 大田作物科学试验方法[M]. 北京: 科学出版社, 1977. 83– 85.

[8] 刘巽浩. 能量投入产出研究在农业上的应用[J]. 农业现代化研究, 1984, (4): 15– 20.

[9] 卞有生. 农业生态工程中生态效率的计算与分析[J]. 农村生态环境, 1999, 15(1): 1– 4.

[10] 刘巽浩. 我国不同地区农田生态系统能量转化效率的初步研究[J]. 北京: 农业大学学报, 1982, 8(1): 47– 53.

[11] 尹迪信, 唐华彬, 朱青, 等. 植物篱逐步梯化技术试验研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 84– 87.

[12] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 等. 坡地等高植物篱带间距对表土养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 1999, 13(2): 23– 29.

[13] 李建辉, 李勇, David A Lobb, 等. 我国南方丘陵区土壤耕作侵蚀的定量研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 1– 4.

[14] 唐小明. 有机肥的保水培肥效果及对东小麦产量的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 130– 132.

[15] 郭胜利, 等. 长期施用化肥对粮食生产和土壤质量性状的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 16– 21.

[16] 张维理, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80– 87.

[17] 邹超亚, 等. 立体农业的概念与发展途径[A]. 中国高功能高效益耕作制度研究进展[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 1990. 45– 59.

[18] 张恩和, 等. 间套复合群体根系的时空生态位机制[A]. 面向 21 世纪的中国农作制[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1998. 287– 290.

[19] 巨晓棠, 等. 冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1493– 1499.

[20] 吴善堂, 等. 旱地分带轮作三熟制——种植结构和功能的研究[J]. 耕作与栽培, 1991, (1): 1– 7.

[21] 孙辉, 唐亚, 赵其国, 等. 干旱河谷区等高植物篱种植系统土壤水分动态研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 85– 87.

[22] 蔡强国, 黎四龙. 植物篱减少侵蚀的原因分析[J]. 水土保持学报, 1998, 12(2): 54– 60.