

文章编号: 1001-1498(2008)05-0719-05

黄土丘陵沟壑区杏树—黄芪复合系统对土壤理化性质的影响

高峻¹, 郑曼², 孟平¹, 张劲松¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714)

摘要:以黄土丘陵沟壑区梯田杏树—黄芪复合系统为研究对象,研究了杏园间作黄芪 2 a后对土壤理化性质的影响。结果表明:杏树—黄芪复合系统和清耕杏园中土壤理化性质均存在明显的垂直分布层次性和水平分布差异性。杏园间作黄芪 2 a后,可使 0~60 cm 土层土壤密度降低 0.8~1.4 g·cm⁻³;土壤总空隙度、土壤稳定入渗率分别增加 1.6~4.7 个百分点、0.10~0.35 mm·min⁻¹;全 N、全 K 以及速效 N、速效 K 含量分别增加 0.10~0.32、0.8~5.5 g·kg⁻¹、1.3~13.3、3.0~33.7 mg·kg⁻¹;土壤有机质含量增加 0.03~0.52 g·kg⁻¹,其中,0~20 cm 土层增加量尤为显著,可达 0.4~0.5 g·kg⁻¹;但全 P 及速效 P 含量有所降低,0~60 cm 土层分别降低 0.02~0.15 g·kg⁻¹和 0.07~1.48 mg·kg⁻¹。间作黄芪对距离树行不同处的土壤理化性质影响不同,距离树行越近,越明显。回归分析表明,土壤稳定入渗率与土壤密度呈负相关、与土壤空隙度呈正相关。在黄土丘陵沟壑区幼龄期果园间作黄芪具有很好的可行性,适于当地推广应用。

关键词:黄土丘陵区;杏—黄芪果药复合系统;土壤理化性质

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

Effects of *Ameniacasibirica*-*Astragalus* System on Soil Physico-chemical Properties of the Hill and Gully Area on the Loess Plateau

GAO Jun¹, ZHENG Man², MENG Ping¹, ZHANG Jin-song¹

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

2. Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: Based on the *Ameniacasibirica*-*Astragalus* system in hill-gully area of the Loess Plateau Regions, the effects of *Astragalus* intercropped in *Ameniacasibirica* orchard after two years on the soil physical and chemical properties was studied. The results showed that there existed vertical distribution gradation and the horizontal distribution difference in soil physical and chemical properties. Compare with *Ameniacasibirica* without covering, the average soil density of the 0—60 cm soil layer in *Ameniacasibirica*-*Astragalus* system decreased by 0.8—1.4 g·cm⁻³, the soil total porosity increased by 1.6%—4.7%, and the soil saturated hydraulic conductivity increased by 0.10—0.35 mm·min⁻¹, respectively. At the same time, the total N, total K and available N, available K increased by 0.10—0.32, 0.8—5.5 g·kg⁻¹, 1.3—13.3 mg·kg⁻¹ and 3.0—33.7 mg·kg⁻¹, respectively. The soil organic matter increased by 0.03—0.52 g·kg⁻¹, especially, which increased by 0.40—0.52 g·kg⁻¹ in the layer of 0—20 cm. But the total P and available P decreased by 0.02—0.15 g·kg⁻¹ and 0.07—1.48 mg·kg⁻¹. The effect of intercropping *Astragalus* on soil physical and chemical properties which in

收稿日期: 2007-06-12

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD03A0501)和国家林业局退耕还林科技支撑项目(200377-2)

作者简介: 高峻(1974—),男,湖北钟祥人,助理研究员,主要从事复合农林业、水土资源高效利用方面的研究。

different distance from tree row were different, the nearer to the tree row, the bigger effect is. Regression showed that there were good positive correlation between the soil saturated hydraulic conductivity and the soil density, the negative correlation between the soil saturated hydraulic conductivity and soil total porosity. There was good feasibility of intercropping *Astragalus* in *Amniaca sibirica* orchard, and this model can be penetrated in hill-gully area of the Loess Plateau Regions.

Key words: Hill-gully Area of the Loess Plateau Regions; *Amniaca sibirica*-*Astragalus* system; soil physical and chemical properties

山杏 (*Amniaca sibirica* (L.) Lam.) 抗逆性强, 生长迅速, 根系发达, 是黄土丘陵沟壑区的主要造林树种, 也是近年来该区的主要经济林种之一^[1-2], 但新植幼林地的效益滞后。黄芪 (*Astragalus* spp.) 是一种多年生豆科草本植物, 为我国著名的常用滋补中药材, 由于黄芪药性温和, 被称之为“补气固表之圣药”, 广泛应用于临床配方^[3]。其生态适应性强, 耐严寒、抗干旱, 对土壤要求不严, 能在山西黄土丘陵沟壑区生长。近年来, 黄芪的市场需求量持续增加, 引发了对黄芪的过度采挖, 使其越来越少, 因此人工栽培黄芪, 对满足药用市场的要求具有十分重要的意义。农林复合系统结构的特殊性和复杂性, 尤其是系统内土壤受到不同种植物根系活动的影响, 间作对土壤理化性质的影响如何, 能否有利于改善土壤理化状况使系统内的组分协调生长, 是发展杏园—黄芪复合模式最重要的理论依据。为此, 本研究以山西中阳县黄土丘陵区沟壑区为例, 以清耕杏园为对照, 分析退耕梯田杏树幼林间作黄芪后对土壤理化性质的影响, 旨在为该地区果药复合系统优化结构配置及林业生态建设提供必要的理论依据。

1 试验区概况

试验区地处山西省中阳县境内, 为温带大陆性季风气候。平均海拔 1 300 m, 历年平均气温 6~10℃, 年均降水量 500 mm, 年日照时数 2 708.4 h, 年太阳总辐射 1 357.5 kcal·cm⁻², 无霜期 130~170 d, 积温 3 490~4 054℃。土壤类型主要是壤土, 试验区自然植被以侧柏 (*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco)、油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.)、柠条 (*Caragana Korshinkii* Kom.)、蒿属 (*Artemisia* L.) 为主。

2 研究方法

2.1 试验设计

试验研究对象为梯田杏—黄芪复合系统, 以清耕杏园为对照, 杏树平均株高 195 cm。梯田宽

32 m, 长 170 m。2003 年春季栽植杏树 (2 年生), 南北行向, 株行距均为 3 m × 4 m。2004 年春季在行间播种黄芪, 黄芪定植行距为 20 cm, 在苗高 4 cm 时按株距 4 cm 间苗, 在苗高 10~12 cm 时按株距 10 cm 定苗, 黄芪带距离东西树行各 50 cm。每年 7 月对黄芪进行打顶, 以控制株高。2005 年 10 月 15 日—10 月 23 日进行样品采集与测定后采收黄芪。采收时黄芪平均株高 56 cm, 干黄芪根产量约 3 100 kg·hm⁻², 90% 的黄芪根位于土层 50 cm 以上。

2.2 样品采集与测定方法

在距西树行 80、200、320 cm 处设置 3 条采样 (或测定) 线, 在各采样线上随机确定 5 个采样点, 采集 0~20、20~40、40~60 cm 土壤样品 (图 1)。用 Gueph 渗透仪^[4-6]在田间直接测定土壤稳定入渗率, 用环刀法 (环刀容积 100 cm³) 测定土壤密度、总孔隙度。同时在样线上采集土壤样品, 捡出植物根系后混匀, 风干后磨碎过筛用于土壤养分含量的测定, 土壤养分含量按常规分析方法测定^[7]。

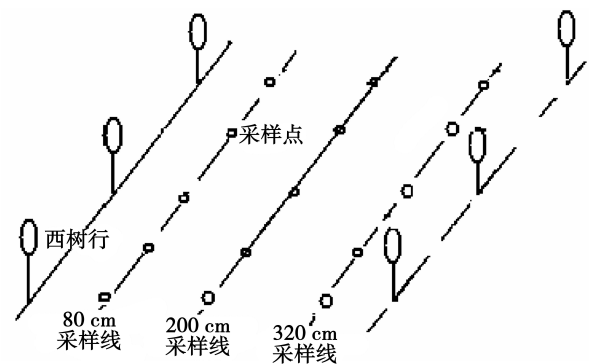


图 1 采样线示意图

3 结果与分析

3.1 土壤密度、总孔隙度以及土壤稳定入渗率的变化

土壤密度和孔隙度是衡量土壤结构优劣的 2 个重要指标, 并影响土壤水分的渗透性。从表 1 可以看出: 在清耕杏园和杏—黄芪复合系统中, 随着土层

深度的增加,土壤密度在逐渐增加,而总空隙度和土壤稳定入渗率均逐渐减小,统计分析表明不同土层深度的土壤密度、总空隙度、土壤稳定入渗率的差异均显著($P=0.05$);距离东西树行 80 cm 处的土壤密度、总空隙度和土壤稳定入渗率比树行中间的大,且与行中间差异显著,但东西行间差异不显著。马祥华等^[8]在研究黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中土壤物理特性变化时亦得到一致的研究结果。

与清耕杏园相比(表 1),杏园间作黄芪 2 a 后,在 0~60 cm 土层内土壤密度、总空隙度,土壤稳定入渗率等土壤物理参数均发生了显著变化($P=0.05$),其中,杏—黄芪复合系统中 0~20、20~40、40~60 cm 土层内土壤密度较清耕杏园分别减少 0.122~0.142、0.088~0.096、0.081~0.084 $g \cdot cm^{-3}$;总空隙度分别较清耕杏园增加 3.62~4.70、2.80~3.02、1.62~2.75 个百分点;土壤稳定入渗率分别增加 0.31~0.35、0.15~0.17、0.11~0.14 $mm \cdot min^{-1}$ 。土壤密度降低、总孔隙度增加和土壤入渗能力的增强反映出间作黄芪后土壤结构更好,这与其它一些研究者的结果一致。如,沈洁等^[9]研究表明:茶—苜蓿复合系统的土壤密度和土壤总空隙度比单作茶树的高,其中苜蓿距离茶树 30、60、90 cm 处的 0~20 cm 土层密度分别减小 0.09、0.07、0.04 $g \cdot cm^{-3}$,土壤总空隙度增加 3.40、2.64、1.51

个百分点;李会科等^[10]的研究也表明:种植豆科牧草可对渭北苹果园 0~40 cm 土层土壤密度平均降低 8.15%,20~40 cm 土层可降低 13.9%;王国梁等^[11]在研究黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤稳定入渗的影响时也发现,草本群落可显著降低土壤密度,增加土壤空隙度,从而提高土壤的稳定入渗率,比较不同植被群落,清耕苹果园的土壤密度最大,空隙度和稳定入渗率最小。

回归分析表明:系统中土壤稳定入渗率与土壤密度呈负相关、与土壤空隙度具有正相关关系。由于黄芪根系对土壤的穿插分割作用能使土体碎裂,尤其是根孔的增加而改变土壤结构,增加土壤孔隙度,降低土壤密度,使土壤入渗性能得到改善,稳定入渗率增加。相关研究指出植被在恢复过程中往往会形成生物性大孔^[12],由于生物性大孔具有较好的连通性且孔隙直径较大,使水分在土壤中的移动加快,有些生物性大孔中还会形成优势流^[13-14],从而使水分在土壤中的移动速度更快。同时,植被每年形成的落叶以及死亡根系分解后形成的有机质进入土体后使土体质地变轻,对增加土壤空隙度、降低密度也有一定的贡献。在距离树行 80 cm 处,由于杏树落叶形成的有机质较行中间多,使得树行中间的土壤密度比较大、土壤总孔隙度和稳定入渗率小。

表 1 不同系统内土壤密度及土壤总孔隙度的变化

系统	土层深度/cm	距西树行距离/cm								
		土壤密度/($g \cdot cm^{-3}$)			土壤总孔隙度/%			土壤稳定入渗率/($mm \cdot min^{-1}$)		
		80	200	320	80	200	320	80	200	320
清耕杏园	0~20	1.275	1.299	1.277	52.14	50.41	51.37	2.27	2.24	2.29
	20~40	1.329	1.359	1.327	50.29	49.61	50.45	2.11	2.07	2.14
	40~60	1.364	1.389	1.363	49.19	49.14	49.16	1.69	1.61	1.70
杏—黄芪复合	0~20	1.133	1.177	1.136	56.13	54.03	56.07	2.62	2.55	2.61
	20~40	1.236	1.271	1.231	53.31	52.41	53.34	2.28	2.24	2.29
	40~60	1.283	1.305	1.281	51.94	50.76	51.82	1.83	1.72	1.81

3.2 不同深度土壤全 N、全 P、全 K 含量的变化

由表 2 可以看出:清耕杏园和杏—黄芪复合系统中随土层深度增加全 N、全 P、全 K 等养分锐减,土壤养分主要聚集在 0~20 cm 土壤表层,表现出明显的垂直分布层次性。距离树行 80 cm 处含量较行中间低,说明全 N、全 P、全 K 等养分存在竞争吸收的贫乏区。统计分析表明,在不同土层深度处、树行中间处和距离东西树行 80 cm 处各层土壤全 N、全 P、全 K 的差异显著($P=0.05$)。

间作黄芪 2 a 后,0~60 cm 土层全 N、全 K 含量

比清耕杏园的高,而全 P 含量却比清耕杏园的低。其中,在 0~20、20~40、40~60 cm 土层内土壤全 N 较清耕杏园分别增加了 19.83%~25.40%、12.35%~23.16%和 11.29%~19.74%;全 K 分别较清耕杏园增加了 13.07%~26.07%、7.88%~9.15%和 6.45%~8.33%;全 P 却降低了 14.74%~15.96%、9.09%~12.35%和 3.51%~5.81%,这说明间作豆科的黄芪后能提高土壤 N、K 含量,但易造成 P 的消耗,这可能是由于豆科黄芪的固 N 作用增加了土壤中的 N 素,同时增加了杏树对磷素的需

求。闫德仁等^[15]在杨树—大豆复合系统中也有相同的结果,其认为土壤磷素的降低是由于豆科植物生长消耗的磷素增大。周卫军等^[16]和 Suman等^[17]

在研究复合系统中 P 的吸收利用、分配和迁移规律时也有类似的研究结果。

表 2 不同系统内不同深度土壤全 N、全 P、全 K 含量的变化

系统	土层深度 /cm	距西树行距离 /cm								
		全 N/(g·kg ⁻¹)			全 P/(g·kg ⁻¹)			全 K/(g·kg ⁻¹)		
		80	200	320	80	200	320	80	200	320
清耕杏园	0~20	1.16	1.26	1.14	0.95	1.08	0.94	19.9	21.1	19.7
	20~40	0.79	0.95	0.81	0.81	0.99	0.82	16.5	17.6	16.4
	40~60	0.62	0.76	0.59	0.59	0.86	0.57	12.3	13.2	12.4
杏—黄芪复合	0~20	1.39	1.58	1.37	0.81	0.95	0.79	22.5	26.6	22.4
	20~40	0.89	1.17	0.91	0.71	0.9	0.73	17.8	19.8	17.9
	40~60	0.69	0.91	0.67	0.56	0.81	0.55	13.1	14.3	13.2

3.3 不同深度土壤速效养分的变化

从表 3 可以看出,清耕杏园和杏—黄芪复合系统中土壤速效 N、速效 P、速效 K 等养分与全 N、全 P、全 K 的变化趋势一致,随土层深度增加速效 N、速效 P、速效 K 等养分也锐减,而且各土层的差异显著 ($\alpha=0.05$),土壤速效养分亦主要聚集在 0~20 cm 土壤表层,树行中间处比距离树行 80 cm 处高。间作黄芪 2 a 后,在 0~20、20~40、40~60 cm 土层内土壤速效 N 较清耕杏园分别增加了 7.4~13.3、3.6~7.6、1.3~2.7 mg·kg⁻¹;速效 K 分别较清耕杏园

增加了 15.5~33.7、8.5~13.4、3.0~5.3 mg·kg⁻¹。从表层到 60 cm 土层深度增加的幅度逐渐降低。0~60 cm 土层速效 P 含量比清耕杏园降低,降低了 1.32~1.48、0.58~0.68 和 0.07~0.28 mg·kg⁻¹。齐鑫山等^[18]研究也表明:红富士苹果园间种白三叶草 3 a 后 0~30 cm 土层的速效 N、速效 P 和速效 K 含量比清耕苹果园平均提高 30.5%、14.6% 和 11.2%;但贺明荣等^[19]研究表明粮果间作种植时,土壤速效 P 含量降低,速效 N、速效 K 不存在此变化。

表 3 不同系统内不同深度土壤速效养分的变化

系统	土层深度 /cm	距西树行距离 /cm								
		速效 N/(mg·kg ⁻¹)			速效 P/(mg·kg ⁻¹)			速效 K/(mg·kg ⁻¹)		
		80	200	320	80	200	320	80	200	320
清耕杏园	0~20	32.6	42.1	31.8	9.86	9.97	9.67	186.8	196.2	185.3
	20~40	21.7	27.3	22.7	7.27	7.35	7.18	118.8	126.4	116.7
	40~60	18.6	19.1	18.5	5.36	5.24	5.39	60.3	89.3	61.1
杏—黄芪复合	0~20	40.7	55.4	39.2	8.38	8.65	8.29	202.3	229.9	201.7
	20~40	25.9	34.9	26.3	6.59	6.77	6.59	127.3	139.8	126.9
	40~60	20.1	21.8	19.8	5.08	5.17	5.11	63.7	94.6	64.1

3.4 不同深度土壤有机质的变化

由表 4 可以看出:清耕杏园和杏—黄芪复合系统表层有机质含量高,随着土壤深度的增加,土壤有机质和养分含量急剧下降,亦表现出明显的垂直分

表 4 不同系统内不同深度土壤有机质的变化

系统	土层深度 /cm	距西树行距离 /cm		
		土壤有机质/(g·kg ⁻¹)		
		80	200	320
清耕杏园	0~20	1.68	1.57	1.67
	20~40	1.49	1.32	1.51
	40~60	0.85	0.66	0.83
杏—黄芪复合	0~20	2.17	1.96	2.19
	20~40	1.73	1.51	1.74
	40~60	0.91	0.69	0.89

布层次性,与土壤养分存在一致的垂直分布趋势。统计分析表明:在不同土层深度、距离东西树行 80 cm 处与行中间的土壤有机质含量差异亦显著 ($\alpha=0.05$),但东西行间差异不显著。杏园间作黄芪 2 a 后,杏—黄芪复合系统土壤有机质含量明显比清耕杏园土壤的高,这说明间作黄芪后有利于杏园土壤有机质增加。杏—黄芪复合系统中 0~20、20~40、40~60 cm 土层内土壤有机质较清耕杏园分别增加 0.39~0.52、0.19~0.24 和 0.03~0.06 g·kg⁻¹,增加了 24.84%~31.14%、14.39%~16.11% 和 4.55%~7.23%,土层越深,增加的幅度越小。齐鑫山等^[18]研究表明,红富士苹果园间种白三叶草

3 a后 0~30 cm 土层的有机质含量比清耕苹果园平均提高 $3.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

4 讨论与结论

多数试验表明,果园间作可改善土壤密度、土壤总空隙度和土壤稳定入渗率等土壤物理性状^[9, 18, 21];同时,间作豆科植物可增加土壤养分含量^[10, 18, 20-22]。也有研究者认为,豆科树种与间作农作物之间氮素竞争作用较弱,甚至根本不存在氮肥竞争,可能是豆科作物能够通过自身的生物固氮满足其氮素需求^[23-25]。另外,许多学者^[20, 26]也进行了果园间作对水土保持效果的研究,结果表明农林复合结构对水土保持具有很好的效果。段舜山等^[20]研究表明,赤红壤坡地幼龄果园间作牧草可比清耕果园减少径流 30.64%~52.64%,减少土壤侵蚀量 64.32%~91.07%。黄土丘陵沟壑区梯田杏园间作黄芪对水土保持的影响有待进一步研究。

从本研究结果来看,黄土丘陵沟壑区梯田杏园中土壤密度、土壤总空隙度和土壤稳定入渗率等土壤物理性质以及土壤有机质、全 N、全 P、全 K、速效 N、速效 P、速效 K 等养分含量不仅存在明显的垂直分布层次性,而且在水平分布上也存在着差异性。回归分析表明,土壤稳定入渗率与土壤密度呈负相关、与土壤空隙度具有很好的正相关关系。间作黄芪 2 a 后对土壤密度、土壤总空隙度和土壤稳定入渗率等土壤物理性质有显著的改善作用,距离树行越近,这种改善作用越明显。间作黄芪虽降低了磷素,但土壤有机质、其它养分含量显著提高,说明杏—复合系统在该区是一种很好的生产方式,但是对杏树后期生长的影响如何,还有待进一步研究;同时,在杏园的管理过程中亦需适当加大磷肥施用量,以减小间作的不利影响。

参考文献:

- [1] 李加延,孙 升. 杏资源研究与利用进展 [M]. 北京:中国林业出版社,2000:7-11
- [2] 程林仙,王万瑞,仁启宗,等. 陕北仁用杏气候适宜性区划 [J]. 西北林学院学报,2001(2):18-21
- [3] 段琦梅,梁宗锁,慕小倩,等. 黄芪种子萌发特性的研究 [J]. 西北植物学报,2005,25(6):1246-1249
- [4] A Fares A K, Alva P, Nkedi-Kizza, *et al* Estimation of soil Hydraulic properties of a sandy soil using capacitance probes and guelph permeameter [J]. Soil Sci, 2000, 165(10):768-777
- [5] 华 孟,王 坚. 土壤物理学 [M]. 北京:北京农业大学出版社,1993
- [6] 梁 音,雷文进,蒋平安,等. 应用 Guelph 方法研究入渗与径流的关系 [M]//黄土高原土壤侵蚀与旱地农业. 西安:陕西科学技术出版社,1997
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京,中国农业出版社,2000
- [8] 马祥华,焦菊英,温仲明,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中土壤物理特性变化研究 [J]. 水土保持研究,2005,12(1):17-21
- [9] 沈 洁,董召荣,朱玉国,等. 茶树—苜蓿间作条件下主要生态因子特征研究 [J]. 安徽农业大学学报,2005,32(4):493-497
- [10] 李会科,赵政阳,张广军. 种植不同牧草对渭北苹果园土壤肥力的影响 [J]. 西北林学院学报,2004,19(2):31-34
- [11] 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
- [12] Chisci G C, Bazzom P, Pagliai M, *et al* Association of sulla and atriplex shrub for the physical improvement of clay soils and environmental protection in central Italy [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 84:45-53
- [13] MartinezMeza E, Whitford W G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan Desert shrubs [J]. Journal of Arid Environments, 1996,32:271-287
- [14] Gile L H, Gibbens R P, Lenz J M. Soil-induced variability in root systems of creosote bush (*Larrea Tridentata*) and tarbush (*Flourensia cernua*) [J]. Journal of Arid Environments, 1998,39:57-78
- [15] 闫德仁,刘永军,冯立岭,等. 农林复合经营土壤养分的变化 [J]. 东北林业大学学报,2001,29(1):53-56
- [16] 周卫军,王凯荣,李合松. 大豆柑桔间作系统中磷的分配和迁移规律研究 [J]. 应用生态学报,2004,15(2):215-220
- [17] Suman G, Mohan K B, Wahid P A, *et al* Root competition for phosphorus between the tree and herbaceous components of silvo-pastoral system in Kerala, India [J]. Plant and Soil, 1996, 179:189-196
- [18] 齐鑫山,丁卫建,王仁卿,等. 果园间种白三叶草对土壤生态及果树生产的影响 [J]. 农村生态环境,2005,21(2):13-17
- [19] 贺明荣,冷寿慈,李增嘉,等. 粮果间作种植模式的资源利用与管理 [J]. 生态学杂志,1994,13(6):7-10
- [20] 段舜山,蔡昆争,王晓明,等. 鹤山赤红壤坡地幼龄果园间作牧草的水土保持效应 [J]. 草业科学,2000,17(6):12-17
- [21] 郝淑英,刘蝴蝶,牛俊玲,等. 黄土高原区果园生草覆盖对土壤物理性状、水分及产量的影响 [J]. 土壤肥料,2003(1):25-27
- [22] 刘蝴蝶,郝淑英,曹 琴,等. 生草覆盖对果园土壤养分、果实产量及品质的影响 [J]. 土壤通报,2003,34(3):184-186
- [23] Rowe E C, Hairiah K, Giller K E, *et al* Testing the safety-net role of hedgerow tree roots by 15N placement at different soil depths [J]. Agroforestry System, 1999,43:81-93
- [24] Akinnifesi F K, Kang B T, Sangina N, *et al* Nitrogen use efficiency and N-competition between leucaena hedgerows and maize in an alley cropping system [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1997,47:71-80
- [25] Lehmann J, Weigl D, Droppelmann K, *et al* Nutrient cycling in an agroforestry system with runoff irrigation in Northern Kenya [J]. Agroforestry System, 1999,43:49-70
- [26] Eric R, Francois N. Agroforestry, water and soil fertility management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda [J]. Soil Technology, 1997,11:109-119