

牧草的不同利用方式对果—草人工生态系统土壤理化及生物学性状的影响

张桂荣, 李 敏*

(菏泽学院园林工程系, 山东菏泽 274200)

摘 要: 采用单因素随机区组试验研究了果—草人工生态系统中牧草的不同利用方式对土壤理化及生物学性状的影响。结果表明: 刈割覆盖、刈割压埋、畜肥还园 3 种利用方式均能较清耕提高土壤水分含量, 降低土壤密度, 稳恒土壤温度, 提高土壤养分含量, 增加土壤微生物数量, 提高土壤酶活性。相关性分析发现, 除全 P 与纤维分解菌、纤维分解酶、多酚氧化酶为负相关外, 其余养分与生物因子间均呈正相关, 且多数养分与生物因子呈显著或极显著相关; 经通径分析发现, 脲酶、硅酸盐细菌、纤维分解酶是促进有机质积存的主要生物因素, 蔗糖酶是影响 N、P、K 速效养分的最主要因子, 过氧化氢酶、多酚氧化酶、纤维分解菌只是选择性地对有机质的积存和 N、P、K 速效养分的形成起作用。

关键词: 果—草人工生态系统; 土壤; 理化生性状; 相关性分析; 通径分析

中图分类号: S142.1; S142.9

退耕还林(草)是国家为促进农业可持续发展而作出的重大战略决策。为增强四川盆地丘陵地区在退耕还林后农业的发展后劲, 并保护好生态环境, 可考虑在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的坡耕地发展果—草模式, 建立果—草人工生态系统, 促进农业经济及农村生态环境的协调、持续发展。然而, 目前对川中丘陵地区果—草人工生态系统的生态效应研究还很少, 为此, 研究了果—草人工生态系统中牧草的不同利用方式对土壤理化及生物学性状的影响, 为该地区果—草—畜综合发展模式的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 果—草人工生态系统的构建

该生态系统由李树(乔木)、牧草(草丛)及园地构成。李树为 1999 年定植的布朗李, 品种为: 黑宝石(*P.salicina* var. Friar)、安哥诺(*P.salicina* var. Angeleno)。砧木为桃(*P.persica* L.(Batsch)), 主干型, 株行距 $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ 。牧草为多年生黑麦草(*Lolium perenne* L.)和紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.), 于 2002 年 9 月在李树行间隔沟混播, 条沟距 25 cm。

试验园地为四川省大英县蓬莱镇殷家沟李园, 位于四川盆地中部, 属中亚热带湿润季风气候。年平均温度 17.3°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 5388°C , 一月均温 6.3°C ,

绝对最低温度 -2.9°C , 无霜期 300 天左右, 年降雨量 932 mm, 相对湿度 79%, 年日照时数 1472 h。土壤是侏罗纪蓬莱镇组母岩发育而成的棕紫泥土^[1], 平均侵蚀模数为 $8.060\text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 水土流失严重, 属于极强度水土流失区。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组试验设计, 设置 A、B、C、D 4 处理(A, 刈割覆盖; B, 刈割压埋; C, 畜粪还园; D, 清耕对照), 每处理 4 次重复, 共计 16 小区, 每一小区 7 株李树 (42 m^2)。于 2003 年 3、6、9 月, 2004 年 3 月共处理 4 次。处理时, A、B 两处理用草量保持一致, 每株 25 kg, A 处理覆盖范围为树冠投影面积, 草厚 15 cm, 根颈部位不覆盖; B 处理将草直接埋于树冠外缘滴水线下, 深度 40 cm; C 处理用 A、B 两处理同量牧草饲喂家兔后腐熟的兔粪还园; D 处理只施用化学肥料, 用量为前 3 处理所用牧草(兔粪)中 N、P、K 折算含量^[2]。其余常规管理, 4 处理一致。另外, 4 处理按 N:P:K = 1:0.8:1 (以纯量计)^[3]施用化学肥料, N 肥 $150\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, P 肥 $120\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, K 肥 $150\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

1.3 测定方法

分别于 2004 年 3、6、9、12 月采用对角线取样法, 采集 0~40 cm 土层混合土样测定土壤纤维分解菌和硅

* 通讯作者 (limin428@126.com)

作者简介: 张桂荣 (1964—), 女, 山东菏泽人, 副教授, 主要从事土壤改良研究。E-mail: zhgr6031626@163.com

酸盐细菌^[4]及蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶、纤维分解酶和多酚氧化酶活性^[5]。

土壤温度于 2004 年 6 月、12 月定点测定；2004 年 6 月采用对角线法采集 0~40 cm 土层混合土样，风干后用于土壤养分测定，其方法参照《土壤农化分析手册》^[6]；土壤水分含量用烘干法^[6]测定；土壤密度用环刀法^[6]测定。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物数量

由表 1 可看出，A、B、C 3 处理纤维分解菌和硅酸盐细菌的数量都较 D 处理高。其中，A 处理的纤维分解菌数量为 D 处理 2 倍左右，差异达到极显著，而与 B 处理纤维分解菌的数量差异较小，未达显著水平；B 处理与 C 处理、C 处理与 D 处理纤维分解菌数量的差异均未达到显著水平。A、B、C 3 处理的硅酸盐细菌数量均显著高于 D 处理，而 3 处理间无显著差异，这可能是由于硅酸盐细菌的生长繁殖与其营养基质中 P、K 素等养分含量有关，而与水分、O₂ 的关系不大。

表 1 不同处理的微生物数量 (×10³/g 干土)

Table 1 Population of microorganisms in different treatments

处理	纤维分解菌	硅酸盐细菌
A	5.145 a A	12.042 a
B	4.387 ab AB	12.265 a
C	3.380 bc AB	11.873 a
D	2.711 c B	8.792 b

注：①表中数据为 2004 年 3—12 月 4 个季节测定值的平均值；②表中不同的小写字母表示差异在 p<0.05 水平上达到显著，不同的大写字母表示在 p<0.01 水平上达到显著，下同。

2.2 土壤酶活性

研究表明（表 2），A、B、C 3 处理的 5 种酶活性都较 D 处理有所增加。其中，A、B、C 3 处理的脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活力都显著或极显著高于 D 处理；纤维分解酶活性 A、B 处理都显著高于 D 处理；多酚氧化酶活性 A、B 处理都较 D 处理高，差异达到显著，且 B 处理极显著高于 D 处理。

表 2 不同处理的土壤酶活性比较

Table 2 Soil enzyme activities in different treatments

处理	蔗糖酶	脲酶	过氧化氢酶	纤维分解酶	多酚氧化酶
A	4.954 b A	0.479 a A	2.177 a A	53.689 a	1.082 ab AB
B	5.611 ab A	0.380 b AB	2.287 a A	55.487 a	1.109 aA
C	5.657 a A	0.551 a A	2.206 a A	48.676 ab	0.972 bcAB
D	3.265 c B	0.264 c B	1.687 b B	41.082 b	0.934 cB

注：①表中数据为 2004 年 3—12 月 4 个季节测定值的平均值。②蔗糖酶活性单位为 glucose mg/(g·d)，脲酶活性单位为 NH₃-N mg/(g·d)，过氧化氢酶活性单位为 0.1mol/L KMnO₄ ml/(g·20 min)，纤维分解酶活性单位为 glucose mg/(10 g·72 h)，多酚氧化酶活性单位为 pyrogallol mg/(g·2 h)。

这些结果说明，D 处理（清耕）极不利于土壤的各种代谢活动，阻滞了土壤的各种物质的循环和转化，而其他 3 种处理却都有效地提高了土壤酶活性，从而增强了土壤的代谢强度，加速了土壤中各类物质的循环与转化。

2.3 土壤物理性状

由表 3 可知，在 A、B、C 3 种牧草的利用方式下，土壤水分含量极显著地高于 D 处理，而 A、B、C 3 处理间并无显著差异。由于测定时试验地正值该地区夏旱时期，这说明 A、B、C 3 种牧草利用方式均能有效地保持土壤中的水分，减轻干旱致害，促进果树的生长发育。

采用清耕管理（D 处理）的土壤密度最大，达到 1.478 g/cm³，极显著地高于 A 处理，显著高于 C 处理。这表明在清耕管理下，土壤最为板结，通透性最差，

不利于果树根系的生长；相反，A、B、C 3 处理均能有效地减小土壤密度，改善土壤的通气、透水性能。

表 3 不同处理的水分含量和土壤密度变化

Table 3 Soil water content and soil density in different treatments

处理	水分含量 (%)	土壤密度 (g/cm ³)
A	19.139 a A	1.301 c B
B	19.060 a A	1.419 ab AB
C	19.665 a A	1.344 bc AB
D	13.950 b B	1.478 a A

注：土壤水分含量于 2004 年 6 月 21、22 日测定，表中土壤水分含量的数据为两日测定值的平均值；土壤密度于 2004 年 9 月 16 日测定。

中亚热带地区的夏季高温和冬季低温，对果树生长发育影响很大，经测定 4 种处理的夏、冬季土壤湿度表明（表 4），在 4 种处理方式下，夏、冬季 30 cm

表 4 处理间不同土层夏、冬季土壤温度 (℃) 比较
Table 4 Soil temperatures in different soil layers in summer
and winter in different treatments

处理	夏季		冬季	
	10 cm 土层	30 cm 土层	10 cm 土层	30 cm 土层
A	23.7 cB	22.8 bB	11.3 aA	9.9 a
B	25.8 bB	22.8 bB	10.8 abAB	9.6 a
C	25.2 bB	22.4 bB	9.9 bcAB	9.3 ab
D	28.9 aA	26.2 aA	9.2 cB	8.7 b

注: 测定时间为 2004 年 6 月 21 日、22 日和 12 月 19 日、20 日的 13:30, 表中数据为两日测定值的平均值。

土层的土温均低于 10 cm 土层。在夏季, D 处理 10 cm 和 30 cm 土层的土温均极显著地高于其他处理相应土层的土温; 在 10 cm 土层, 以 A 处理土温最低, 为 23.7 ℃, B、C 处理稍高, D 处理土温最高, 达到 28.9 ℃, 较 A 处理高出 5.2 ℃; 在 30 cm 土层, A、B、C 3 处理土温接近, 均极显著低于 D 处理 (26.2 ℃), 1) 处理较 C 处理高出 3.8 ℃。在冬季, 10 cm 土层以 A 处理土温最高, 达到 11.3 ℃, 极显著高于 D 处理,

显著高于 C 处理, B 处理也显著高于 D 处理; 30 cm 土层也以 A 处理土温最高, 达到 9.9 ℃, 且 A、B 两处理显著高于 D 处理。

这些结果说明, A、B、C 3 种牧草利用方式均有夏季降温、冬季增温的效果, 且 A 处理夏季降温、冬季增温幅度最大, 效果最好。

2.4 土壤化学养分

试验表明 (表 5), A、B、C 3 种处理土壤的碱解 N、全 N、速效 P、速效 K、全 K 和有机质含量均较 D 处理有所提高, 且全 K、有机质含量差异达到极显著水平, 速效 K 含量差异达到极显著水平; B、C 处理的碱解 N 含量极显著地高于 D 处理, 全 N、速效 P 含量显著高于 D 处理。全 P 含量以 C 处理最高, 达到 1.54 g/kg, 极显著高于其余 3 处理, 且其余 3 处理差异甚微。这些结果说明, A、B、C 3 处理相对于清耕 (D 处理) 能增加土壤中多数矿质养分的含量, 特别是有机质、全 K、速效 K、碱解 N、全 N、速效 P 含量增加明显; 而且在这 4 个处理中以 C 处理改善土壤化学性状的效果最佳。

表 5 4 种牧草利用方式土壤养分比较
Table 5 Soil nutrients in different treatments

处理	碱解 N (mg/kg)	全 N (g/kg)	速效 P (mg/kg)	全 P (g/kg)	速效 K (mg/kg)	全 K (g/kg)	有机质 (g/kg)
A	93.60 bc BC	1.06 ab	20.48 bc	1.01 b B	119.55 b B	28.73 a A	16.67 a A
B	112.42 a AB	1.23 a	23.11 ab	1.03 b B	142.83 a A	29.12 a A	15.97 a A
C	120.67 a A	1.15 a	23.99 a	1.54 a A	146.82 a A	28.88 a A	17.56 a A
D	85.19 c C	0.93 b	17.64 c	1.05 b B	109.34 c B	22.32 b B	10.22 b B

注: 土壤养分的测定时间为 2004 年 6 月。

2.5 土壤养分、微生物、酶之间的相关性分析

从表 6 可知, 除纤维分解菌、纤维分解酶、多酚氧化酶与全 P 呈负相关外, 其余相关因子之间均呈正相关。其中, 纤维分解菌与全 K 呈极显著相关, 与有机质呈显著相关; 硅酸盐细菌与全 N、速效 P、速效 K、全 K、有机质呈极显著相关, 与碱解 N 呈显著相关; 蔗糖酶与全 P 除外的各种养分呈极显著相关; 脲酶与全 N 除外的各种养分呈极显著相关; 过氧化氢酶与全 P 除外的各种养分呈极显著相关; 纤维分解酶与全 N、全 K、有机质呈极显著相关, 与速效 P、速效 K 呈显著相关; 多酚氧化酶与全 K 呈极显著相关, 与全 N、有机质呈显著相关。说明硅酸盐细菌、脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、纤维分解酶与土壤中全 P 除外的各种养分含量有密切关系, 是影响土壤矿质养分及有机质的形成、积累的重要因子。

由表 7 可知, 除纤维分解菌与脲酶未达到显著相关外, 纤维分解菌与蔗糖酶呈显著相关, 与其余的酶呈极显著相关; 硅酸盐细菌与所有的酶均呈极显著相关。这表明硅酸盐细菌与所有的酶, 纤维分解菌与过氧化氢酶、纤维分解酶、多酚氧化酶、蔗糖酶之间的相互影响很大。

2.6 土壤养分与土壤微生物及酶的通径分析

从表 6 的分析已了解, 土壤养分与所测定的大部分土壤微生物及土壤酶都有着显著的相关关系。为了明确影响有机质、碱解 N、速效 P、速效 K 的土壤微生物及酶中最直接、起最根本作用的因子, 将这 4 种养分分别与土壤微生物和酶的相关因子进行了通径分析。

2.6.1 有机质与土壤酶及微生物的通径分析 从表 8 可知, 在研究的几种影响因子中, 脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、纤维分解酶、多酚氧化酶、硅酸盐细

表 6 土壤养分与微生物、酶活性的相关系数

Table 6 Correlations coefficients of soil nutrients with microorganism and soil enzyme activity

相关因子	碱解 N	全 N	速效 P	全 P	速效 K	全 K	有机质
纤维分解菌	0.061	0.385	0.264	-0.356	0.130	0.660**	0.605*
硅酸盐细菌	0.574*	0.782**	0.780**	0.230	0.661**	0.867**	0.867**
蔗糖酶	0.847**	0.862**	0.940**	0.432	0.890**	0.942**	0.922**
脲酶	0.653**	0.494	0.677**	0.622**	0.623**	0.761**	0.869**
过氧化氢酶	0.749**	0.832**	0.818**	0.222	0.794**	0.926**	0.921**
纤维分解酶	0.444	0.648**	0.548*	-0.146	0.499*	0.852**	0.748**
多酚氧化酶	0.234	0.542*	0.400	-0.367	0.300	0.685**	0.517*

注：*表示显著相关（ $p<0.05$ ），**表示极显著相关（ $p<0.01$ ）；表中数据为皮尔逊相关系数，下同。

表 7 土壤微生物与酶活性相关系数

Table 7 Correlation coefficients between soil microorganisms and enzymes

相关因子	蔗糖酶	脲酶	过氧化氢酶	纤维分解酶	多酚氧化酶
纤维分解菌	0.506*	0.416	0.633**	0.825**	0.749**
硅酸盐细菌	0.848**	0.643**	0.851**	0.780**	0.630**

表 8 土壤酶和微生物对有机质（Y）的通径系数

Table 8 Pathway coefficients of soil enzymes and microorganisms to organic matter

相关因子	r	直接作用	间接作用					
			$x_1 \rightarrow Y$	$x_2 \rightarrow Y$	$x_3 \rightarrow Y$	$x_4 \rightarrow Y$	$x_5 \rightarrow Y$	$x_7 \rightarrow Y$
脲酶（ x_1 ）	0.869	0.484		0.088	0.098	0.081	0.009	-0.031
过氧化氢酶（ x_2 ）	0.921	0.122	0.349		0.123	0.154	0.035	-0.048
蔗糖酶（ x_3 ）	0.922	0.131	0.363	0.114		0.137	0.030	-0.038
纤维分解酶（ x_4 ）	0.748	0.181	0.215	0.104	0.098		0.040	-0.061
多酚氧化酶（ x_5 ）	0.517	0.052	0.086	0.083	0.075	0.139		-0.056
纤维分解菌（ x_6 ）	0.605	-0.074	0.201	0.077	0.066	0.149	0.038	
硅酸盐细菌（ x_7 ）	0.867	0.219	0.311	0.103	0.111	0.141	0.032	-0.050

注：Po.e = 0.202； $d_{0.1}$ = 0.234； $d_{0.2}$ = 0.015； $d_{0.3}$ = 0.017； $d_{0.4}$ = 0.033； $d_{0.5}$ = 0.003； $d_{0.6}$ = 0.005； $d_{0.7}$ = 0.048；do.e = 0.041。

菌对有机质的直接作用为正；纤维分解菌对有机质的直接作用为负。它们对有机质的决定系数由大到小依次为：脲酶（0.234）>硅酸盐细菌（0.048）>纤维分解酶（0.033）>蔗糖酶（0.017）>过氧化氢酶（0.015）>纤维分解菌（0.005）>多酚氧化酶（0.003）。这说明脲酶、硅酸盐细菌、纤维分解酶是影响有机质的主要因子，而且这三者对有机质的直接作用为正，说明这三者能促进有机物的降解而使有机质得到积存。其中，脲酶又是最重要的影响因子，因为它对有机质的直接正作用最大，而且决定系数也最大，因而它对有机质的积存贡献最大。究其原因，可能是脲酶在促进尿素、酰胺类化合物等有机化合物水解形成 NH_3 的同时，产生的另外产物成为腐殖酸的构成要素，而腐

殖酸又是有机质的主要构成成分^[7]。硅酸盐细菌、纤维分解酶对有机质的直接作用和决定系数都较大，而且硅酸盐细菌与脲酶、纤维分解酶之间存在极显著相关关系（表 7），因而硅酸盐细菌、纤维分解酶、脲酶之间存在协同效应，能相互促进有机质的积存。蔗糖酶、过氧化氢酶、纤维分解酶、多酚氧化酶对有机质的决定系数均较小，因此对有机质的积存影响不大。另外，误差项的决定系数（do.e = 0.041）较大，表明可能存在着对有机质影响显著的其他因子未被考虑。

2.6.2 碱解 N 与土壤酶及微生物的通径分析 对与碱解 N 呈显著或极显著相关的 4 个生物因子进行通径分析（表 9）可知，蔗糖酶、脲酶对碱解 N 直接作

用为正, 过氧化氢酶、硅酸盐细菌对碱解 N 的直接作用为负。它们对碱解 N 的决定系数由大到小依次为: 蔗糖酶 (2.031) > 硅酸盐细菌 (0.343) > 过氧化氢酶 (0.016) > 脲酶 (0.003)。这表明蔗糖酶和硅酸盐细菌是影响碱解 N 形成的主要酶和菌。其中, 蔗糖酶对碱解 N 的直接作用最大, 决定系数也最大, 因此, 蔗糖酶是影响碱解 N 的最主要因子, 可能是蔗糖酶促水解产物——葡萄糖和果糖的下游代谢产物在糖类代谢与氨基酸代谢的相互转换过程中生成酰胺类物质, 在未考虑转氨酶等的情况下, 这些作用就集中反映到蔗糖酶上, 所以蔗糖酶表现出对碱解 N 很大的直接作

用。硅酸盐细菌对碱解 N 虽有较大的直接作用, 但它对碱解 N 的直接作用为负, 而且硅酸盐细菌与蔗糖酶极显著正相关 ($r = 0.848^{**}$), 蔗糖酶活性高 (这是我们所希望的), 硅酸盐细菌数量也就多 (这是我们所不希望的), 因此必须使蔗糖酶活性适当的高而硅酸盐细菌数量又较少时才有利于碱解 N 的形成。脲酶、过氧化氢酶对碱解 N 虽有极显著的相关关系 (表 6), 但它们是通过其他的酶和菌起作用, 所以它们对碱解 N 的影响甚微。另外, 误差项的决定系数 ($do.e = 0.176$) 较大, 说明可能存在对碱解 N 影响显著而未被考虑的因子。

表 9 土壤酶和微生物对碱解 N (Y) 的通路系数

Table 9 Pathway coefficients of soil enzymes and microorganisms to alkaline hydrolytic N

相关因子	r	直接作用	间接作用			
			$x_1 \rightarrow Y$	$x_2 \rightarrow Y$	$x_3 \rightarrow Y$	$x_4 \rightarrow Y$
蔗糖酶 (x_1)	0.848	1.425		0.039	-0.120	-0.497
脲酶 (x_2)	0.653	0.052	1.070		-0.092	-0.377
过氧化氢酶 (x_3)	0.749	-0.128	1.338	0.038		-0.499
硅酸盐细菌 (x_4)	0.547	-0.586	1.208	0.034	-0.109	

注: $Po.e = 0.419$; $d_{0.1} = 2.031$; $d_{0.2} = 0.003$; $d_{0.3} = 0.016$; $d_{0.4} = 0.343$; $do.e = 0.176$ 。

2.6.3 速效 P 与土壤酶及微生物的通路分析 从表 10 看出, 蔗糖酶、硅酸盐细菌对速效 P 的直接作用为正, 过氧化氢酶、脲酶、纤维分解酶对速效 P 的直接作用为负。它们对速效 P 的决定系数由大到小依次为: 蔗糖酶 (1.737) > 纤维分解酶 (0.248) > 脲酶 (0.043) > 硅酸盐细菌 (0.036) > 过氧化氢酶 (0.000)。这表

明蔗糖酶、纤维分解酶是影响速效 P 的主要因子。但由于纤维分解酶对速效 P 的直接作用为负, 因而只有适当低的纤维分解酶活性和适当高的蔗糖酶活性才更有利于速效 P 的形成。过氧化氢酶、硅酸盐细菌、脲酶虽与速效 P 均极显著相关 (表 6), 但由于它们的决定系数很小, 因而对速效 P 形成的贡献很小。

表 10 土壤酶和微生物对速效 P (Y) 的通路系数

Table 10 Pathway coefficients of soil enzymes and microorganisms to rapidly available P

相关因子	r	直接作用	间接作用				
			$x_1 \rightarrow Y$	$x_2 \rightarrow Y$	$x_3 \rightarrow Y$	$x_4 \rightarrow Y$	$x_5 \rightarrow Y$
蔗糖酶 (x_1)	0.940	1.318		-0.008	-0.155	-0.377	0.162
过氧化氢酶 (x_2)	0.818	-0.009	1.238		-0.149	-0.425	0.163
脲酶 (x_3)	0.677	-0.207	0.990	-0.006		-0.223	0.123
纤维分解酶 (x_4)	0.548	-0.498	0.997	-0.007	-0.093		0.149
硅酸盐细菌 (x_5)	0.780	0.191	1.118	-0.007	-0.133	-0.389	

注: $Po.e = 0.179$; $d_{0.1} = 1.737$; $d_{0.2} = 0.000$; $d_{0.3} = 0.043$; $d_{0.4} = 0.248$; $d_{0.5} = 0.036$; $do.e = 0.036$ 。

2.6.4 速效 K 与土壤酶及微生物的通路分析 由表 11 可知, 蔗糖酶、过氧化氢酶对速效 K 的直接作用为正, 脲酶、纤维分解酶、硅酸盐细菌对速效 K 的直接作用为负。它们对速效 K 形成的贡献由大到小依次为: 蔗糖酶 (1.503) > 纤维分解酶 (0.366) > 过氧化氢酶

(0.219) > 脲酶 (0.082) > 硅酸盐细菌 (0.014)。这说明蔗糖酶、纤维分解酶、过氧化氢酶是影响速效 K 的主要因子。其中, 蔗糖酶对速效 K 直接作用很大, 其决定系数也最大, 因而是影响速效 K 形成的最重要因子; 纤维分解酶虽对速效 K 形成的贡献居第二, 但

表 11 土壤酶和微生物对速效 K (Y) 的通径系数
Table 11 Pathway coefficients of soil enzymes and microorganisms to rapidly available K

相关因子	r	直接作用	间接作用				
			$x_1 \rightarrow Y$	$x_2 \rightarrow Y$	$x_3 \rightarrow Y$	$x_4 \rightarrow Y$	$x_5 \rightarrow Y$
蔗糖酶 (x_1)	0.890	1.226		0.439	-0.216	-0.457	-0.102
过氧化氢酶 (x_2)	0.794	0.468	1.151		-0.208	-0.515	-0.102
脲酶 (x_3)	0.623	-0.287	0.920	0.337		-0.270	-0.077
纤维分解酶 (x_4)	0.499	-0.605	0.927	0.399	-0.128		-0.094
硅酸盐细菌 (x_5)	0.661	-0.120	1.039	0.398	-0.185	-0.471	

注: $P_{0.e} = 0.313$; $d_{0.1} = 1.503$; $d_{0.2} = 0.219$; $d_{0.3} = 0.082$; $d_{0.4} = 0.366$; $d_{0.5} = 0.014$; $d_{0.e} = 0.098$ 。

它对速效 K 的直接作用为负,它对土壤中速效 K 增加的作用不大;过氧化氢酶对速效 K 的决定系数较大,相关极显著,其直接作用也较大,表明它对速效 K 的形成有较大的积极效应。

3 讨论

李-草人工生态系统中土壤的理化性状与清耕相比较,发生了明显的变化。前人的诸多研究已发现土壤管理方式的不同会引起土壤团粒结构的变化,从而引起土壤水分含量^[8-9]、密度^[10-12]、温度^[8,13]的变化。本试验的结果也证实,与清耕相比,在人工构建的李-草生态系统中,牧草的 3 种利用方式均使土壤温度更恒定,密度明显降低,蓄含水分的能力增强。由于牧草的 3 种处理方式使大量的有机物归还到土壤中,从而增加了土壤的有机质和矿质养分含量,这与王中英^[14]、赵建民^[15]、薛立^[16]等的研究结果相一致。

土壤是活的有机体,土壤微生物参与着土壤中物质的分解与转化,是影响土壤肥力的重要因素。前人^[17-18]曾经报道不同的土壤管理方式会对土壤中细菌、真菌、放线菌产生影响。土壤酶参与有机质的分解和腐殖质的形成,是土壤生物活性的综合表现^[19-20],它催化土壤中的生物化学反应,对土壤肥力有重要影响。本研究证明李-草生态系统中,刈割覆盖、刈割压埋两处理的纤维分解菌数量显著或极显著高于清耕,刈割覆盖、刈割压埋、畜肥还园 3 处理的硅酸盐细菌数量显著高于清耕。牧草 3 种处理方式下的蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶活性都较清耕有显著或极显著提高,刈割覆盖、刈割压埋的纤维分解酶活性有显著提高。

土壤微生物和酶都是土壤中物质循环、转化的主要因素,是土壤养分形成、积累的成因之一,因而土壤微生物、酶、养分之间存在着一定的相关关系。本研究对此进行了分析,发现除纤维分解菌、纤维分解

酶、多酚氧化酶与全 P 呈负相关外,其余因子间均呈正相关,而且多数因子之间存在显著或极显著的相关关系,这也表明土壤微生物、酶、养分之间关系密切,相互促进、彼此影响。

前人的研究中未对影响土壤有机质、碱解 N、速效 P、速效 K 的主要生物和生化因子进行过论述,为了明确影响这些速效养分的主要生物因子,本研究为此进行了通径分析,并发现脲酶、硅酸盐细菌、纤维分解酶是促进有机质积存的主要因子;蔗糖酶是影响 N、P、K 速效养分形成的最主要因子;过氧化氢酶、多酚氧化酶、纤维分解菌只是选择性地对有机质的积存和 N、P、K 速效养分的形成起作用。

综上述,在李-草人工生态系统中,采用刈割覆盖、刈割压埋、畜肥还园 3 种牧草利用方式能使土壤的理化生性状较清耕得到有效的改善或提高。另外,李园生草可抑制杂草的生长,减少李园除草费用,降低管理成本;李园生草还可减少化肥投入,降低生产成本,有利于无公害或有机果品的生产。因而果-草模式是促进川中丘陵地区农业可持续发展的较好方式。

参考文献:

[1] 全国土壤普查办公室. 中国土种志 (第六卷). 北京: 中国农业出版社, 1996: 418
[2] 全国农业技术推广中心编著. 中国有机肥料养分志. 北京: 中国农业出版社, 1985: 40-59
[3] 华南农业大学主编. 果树栽培学各论. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1991: 389
[4] 李卓棣, 喻子牛, 何绍江主编. 农业微生物学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 1996
[5] 关松荫著. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986
[6] 劳家桢主编. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988
[7] 陈恩凤. 土壤肥力物质基础及其调控. 北京: 科学出版社, 1990: 244
[8] 黄显淦, 钟泽, 黄春霞. 果园绿肥种植和利用研究. 果树科学,

- 1991, 8 (1): 37-39
- [9] 秦嘉海. 免耕留茬秸秆覆盖对河西走廊荒漠化土壤改土培肥效应的研究. 土壤, 2005, 37(4): 447-450
- [10] 李青, 袁韬. 柑桔园不同土壤管理方法比较试验. 中国南方果树, 2002, 31 (1): 11-13
- [11] 任凝辉, 籍越. 石质山地苹果园间作绿肥试验. 北方果树, 1999 (4): 10-11
- [12] 郝淑英, 刘蝴蝶, 牛俊玲, 解晓红, 李登科. 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. 土壤肥料, 2003(1): 25-27
- [13] 卜万锁, 段泽敏, 司祥麟, 李润临, 陈铁柱. 覆盖对果园土壤水热状况及树体生长发育的影响. 华北农学报, 1994, 6(3): 107-111
- [14] 王中英, 杨佩芳, 古润泽, 刘和. 秸秆覆盖对黄土高原旱地苹果园的影响. 中国农业科学, 1992, 25 (5): 42-49
- [15] 赵建民, 赵锋. 旱地苹果园土壤管理制度的探讨. 果树科学, 1995, 12 (1): 32-34
- [16] 薛立, 吴敏, 徐燕, 李燕, 屈明. 几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究. 土壤学报, 2005, 42 (6): 1017
- [17] 张成娥, 杜社妮, 白岗栓, 梁银丽. 黄土塬区果园套种对土壤微生物及酶活性的影响. 土壤与环境, 2001, 10 (2): 121-123
- [18] 高美英, 刘和, 秦国新, 乔永胜, 王中英. 秸秆覆盖对果园土壤固氮菌数量年变化的影响. 果树科学, 2000, 17 (3): 185-187
- [19] 焦如珍, 杨承栋, 屠星南, 盛伟彤. 杉木人工林不同发育阶段林下植被、土壤微生物、酶活性及养分的变化. 林业科学研究, 1997, 10(4): 373-379
- [20] 李松. 豆科牧草对土壤酶活性及肥力影响研究. 草业科学, 1993, 10 (15): 20-23

Effects of Utilization Pattern of Pasture on Soil Physical, Chemical and Biological Properties in an Artificial Fruit-Grass Ecosystem

ZHANG Gui-rong, LI Min

(Heze University, Heze, Shandong 274200, China)

Abstract: A single factor experiment with randomized plot arrangement was carried out to study effects of utilization pattern of pasture on soil physical, chemical and biological properties in an artificial fruit-grass ecosystem. Results showed that compared with cleaning tillage, the other three treatments, such as mowing and mulching, mowing and burying and applying livestock manure to the orchard, raised soil water content, decreased soil density, stabilized soil temperature, increased soil nutrient content, population of soil micro-organisms, and activity of soil enzymes. A conclusion was reached after a correlation analysis that soil nutrients were positively related to biological factors, except total P, which was negatively correlated with cellulose-decomposing bacteria, cellulolytic enzyme, and polyphenol oxidase. The relationship between them was significant or extremely significant. A pathway analysis revealed that urease, silicate bacterium and cellulolytic enzyme were the main biological factors contributing to accumulation of organic matter; sucrase was the most important factor affecting readily available nutrients of N, P and K; and catalase, polyphenol oxidase, cellulose-decomposing bacteria only selectively affected accumulation of organic matter and formation of readily available nutrients of N, P and K.

Key words: Artificial fruit-grass ecosystem, Soil, Physical-chemical-biological properties, Correlation analysis, Pathway analysis