

# 滇中不同植被恢复模式下土壤肥力变化趋势研究

李品荣, 孟广涛, 方向京, 柴勇, 张正海, 尹艾萍, 蔡雨新

(云南省林业科学院, 昆明 650204)

**摘要:**采用定点监测方法,对滇中不同植被恢复模式下的土壤理化性质进行定期观测和土壤肥力变化趋势分析,结果表明:退耕还林期间,随着植被生长量的提高,土壤容重逐渐降低,土壤孔隙度则随之增加,土壤肥力逐渐提高,说明植被恢复能有效改良土壤并提高土壤肥力,且随着林木生长量的增加,土壤肥力的增加趋势更加显著。退耕还林 9 a 后,不同植被恢复模式下的土壤肥力依次为:云南松+旱冬瓜林>银荆林>川滇桤木林>旱冬瓜林>墨西哥柏林>云南松林,说明由于树种不同导致土壤改良作用差异,针阔混交林的土壤改良作用最好,其次是阔叶林,建议在退耕还林和中低产林等工程中多营建针阔混交林和阔叶林。

**关键词:**植被恢复模式;土壤理化性质;土壤肥力;滇中

中图分类号:S714.8

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0090-04

## Study on Change Trends of Soil Fertility under Different Vegetation Recovery Modes in Central Yunnan Province

LI Pin-rong, MENG Guang-tao, FANG Xiang-jing, CHAI Yong, ZHANG Zheng-hai, YIN Ai-ping, CAI Yu-xin  
(Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, China)

**Abstract:** A study on the soil physical-chemical property under different vegetation recovery modes in central Yunnan province was conducted by fixed observation. The results indicated that the growth of vegetation was improved, soil bulk density gradually reduced and soil porosity increased, soil fertility increased during returning farmland to forest. It showed that vegetation recovery can effectively soil property and soil fertility, and as forest growth volume increased, the trend of soil fertility increase was more significant. After 9-year of returning farmland to forest, the level of soil fertility under different vegetation recovery modes was as the sequence of *Pinus yunnanensis*+*Alnus nepalensis* mixed forest>*Acacia dealbarata* forest>*Alnus ferdinandii-coburgii* forest>*Alnus nepalensis* forest>*Cupressus lusitanica* forest>*Pinus yunnanensis* forest. The needle and broad-leaved mixed forest were the best in soil improvement, followed by broad-leaved forests. It is recommended that the needle and broad-leaved mixed forest and broadleaf forest should be established in returning farmland to forest and low-yield forest reconstruction project.

**Key words:** vegetation recover mode; soil physical-chemical property; soil fertility; central Yunnan province

土壤肥力是土壤的基本属性,是土壤物理、化学和生物性质的综合反映。土壤条件是植被恢复的基础,同时植被恢复也对土壤性质的改善具有促进作用,植被和土壤相辅相成、协同发展。林龄不同、林分树种组成以及结构配置不同,土壤肥力也不尽相同<sup>[1]</sup>。本文选择滇中富源县 2002 年退耕还林工程营建的旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)林、川滇桤木(*Alnus ferdinandii-coburgii*)林、云南松(*Pinus yunnanensis*)林、银荆(*Acacia dealbarata*)林、墨西哥柏(*Cupressus lusitanica*)林和云南松+旱冬瓜林 6 种不同植被恢复模式为研究对象,采用定期监测的方法分别于 2002 年、2005 年、2008 年和 2011 年对其土壤理化性状进行定点取样和测定,研究滇中不同植被恢复模式下土壤肥力变化趋势并进行综合评价,以期对滇中地区乃至全省的退耕还林工程和中低产林改造工程提供理论参考。

土壤肥力是土壤的基本属性,是土壤物理、化学和生物性质的综合反映。土壤条件是植被恢复的基础,同时植被恢复也对土壤性质的改善具有促进作用,植被和土壤相辅相成、协同发展。林龄不同、林分树种组成以及结构配置不同,土壤肥力也不尽相同<sup>[1]</sup>。本文选择滇中富源县 2002 年退耕还林工程营建的旱冬瓜(*Alnus nepalensis*)林、川滇桤木(*Alnus ferdinandii-coburgii*)林、云南松(*Pinus yunnanensis*)林、银荆(*Acacia dealbarata*)林、墨西哥柏(*Cupressus lusitanica*)林和云南松+旱冬瓜林 6 种不同植被恢复模式为研究对象,采用定期监测的方法分别于 2002 年、2005 年、2008 年和 2011 年对其土壤理化性状进行定点取样和测定,研究滇中不同植被恢复模式下土壤肥力变化趋势并进行综合评价,以期对滇中地区乃至全省的退耕还林工程和中低产林改造工程提供理论参考。

收稿日期:2012-05-21

修回日期:2012-07-23

资助项目:国家林业公益性行业科研专项“滇中高原水土保持林稳定高效经营技术研究示范”(200804019)

作者简介:李品荣(1973—),男(白族),云南大理人,硕士,高级工程师,主要从事森林资源培育和植被恢复研究。E-mail:lipinro@126.com

通信作者:孟广涛(1969—),男,云南昆明人,博士,研究员,主要从事森林资源培育和水土保持研究。E-mail:Menggt2001@163.com

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

研究区位于滇中富源县,地理位置  $103^{\circ}58'37''$ — $104^{\circ}49'48''$ E、 $25^{\circ}02'30''$ — $25^{\circ}58'22''$ N,年均温  $13.8^{\circ}\text{C}$ ,极端最高温  $39.4^{\circ}\text{C}$ ,极端最低温  $-10.7^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年有效积温  $4\ 024^{\circ}\text{C}$ ,年日照时数  $1\ 819.9\ \text{h}$ ,无霜期  $240\ \text{d}$ ,年均降水量  $1\ 032\ \text{mm}$ ,海拔  $1\ 910\sim 2\ 040\ \text{m}$ 。土壤为山地红壤,地带性植被是以滇石栎(*Lithocarpus dealbatus*)、滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)等壳斗科植物为主的亚热带半湿润常绿阔叶林,由于原生性植被破坏较严重,仅分布于偏远和陡峭的沟谷地带,现存植被主要是以云南松、华山松为主的纯林和混交林。

试验区的林分于 2002 年退耕还林工程营建,除云南松株行距为  $1.5\ \text{m}\times 1.5\ \text{m}$  外,其余林分株行距均为  $2\ \text{m}\times 2\ \text{m}$ ,2008 年已郁闭成林。旱冬瓜林树高  $7\sim 9\ \text{m}$ ,胸径  $13\sim 18\ \text{cm}$ ,郁闭度  $0.9$ ;川滇桤木林树高  $8\sim 10\ \text{m}$ ,胸径  $14\sim 17\ \text{cm}$ ,郁闭度  $0.9$ ;云南松林树高  $5\sim 7\ \text{m}$ ,胸径  $11\sim 13\ \text{cm}$ ,郁闭度  $0.75$ ;银荆林树高  $11\sim 15\ \text{m}$ ,胸径  $25\sim 28\ \text{cm}$ ,郁闭度  $0.95$ ;墨西哥柏林树高  $8\sim 11\ \text{m}$ ,胸径  $15\sim 18\ \text{cm}$ ,郁闭度  $0.85$ ;云南松+旱冬瓜林树高  $5\sim 9\ \text{m}$ ,胸径  $11\sim 18\ \text{cm}$ ,郁闭度  $0.9$ ,混交比例为:云南松 7 行旱冬瓜 3 行。林下植物以苔藓(*Mnium spinosum*)、荩草(*Arthraxon hispidus*)、糯米团(*Gonostegia hirta*)和马蹄金(*Dichondra repens*)等中生和荫生植物为主。

### 1.2 研究方法

采用野外作业与室内分析相结合的方法,在每种林分内选取标准地,进行立地条件调查和标准地立木调查。记录坡度、坡向、坡位、树高、枝下高、胸径、冠幅、郁闭度以及灌草的种类、高度、盖度等。同时在每块标准样地内选择 3 个具有代表性的位置定点采集  $0\sim 10\ \text{cm}$  土层的土壤样品,采用中国科学院南京土壤研究所分析方法<sup>[2]</sup>和中国分析标准方法<sup>[3]</sup>对不同土类的物理化学性质进行室内分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤物理性状

土壤物理性质直接关系到林木根系生长及其对水分、养分的吸收,是土壤肥力的重要指标之一,土壤物理质量的变化直接影响林木的生长和林地生产力。在评价土壤质量的定量体系中,基本的物理性状指标包括质地、结构性、含水状况、持水特性、容重和孔隙度等,本文根据实际情况,选择容重、总孔隙度和毛管

孔隙度为本次研究的主要物理指标。土壤物理性状及其变化见表 1。

(1) 土壤容重的大小反映了土壤的结构状况,预示着土壤的水分和空气的运行和存在的状态,是反映土壤松紧程度及土壤通气透水状况的一个指标,主要受土壤质地、结构状况、有机质含量的影响。一般来说,容重小,土壤疏松,有利于拦渗蓄水,减缓径流冲刷,容重大则相反<sup>[4]</sup>。表 1 表明,退耕还林前试验区是耕地,土壤容重差异不大,为  $1.2\sim 1.3\ \text{g}/\text{cm}^3$ ,但随着植被恢复的进程,土壤容重呈递减趋势。退耕还林 9 a 后,由于营建的树种不同导致土壤容重存在一定差异,银荆林的土壤容重最低,为  $0.95\ \text{g}/\text{cm}^3$ ,说明银荆比其它参试树种的土壤改良作用更明显。

表 1 不同植被恢复模式下的土壤物理性状

年份	植被恢复模式	容重/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	总孔隙度/ 度/%	毛管孔隙度/ 度/%
2002	旱冬瓜林	1.24	54.2	36.2
	川滇桤木林	1.21	53.4	35.6
	云南松林	1.23	53.5	35.8
	银荆林	1.24	53.1	36.2
	墨西哥柏林	1.22	54.5	36.3
	云南松+旱冬瓜林	1.22	52.8	36.2
2005	旱冬瓜林	1.15	57.3	38.2
	川滇桤木林	1.14	57.2	38.4
	云南松林	1.17	56.7	37.8
	银荆林	1.11	58.1	38.9
	墨西哥柏林	1.14	56.4	38.1
	云南松+旱冬瓜林	1.12	57.3	38.7
2008	旱冬瓜林	1.05	59.7	40.2
	川滇桤木林	1.04	58.7	39.8
	云南松林	1.07	57.9	38.7
	银荆林	0.98	61.4	40.7
	墨西哥柏林	1.11	58.1	39.5
	云南松+旱冬瓜林	1.04	59.8	41.8
2011	旱冬瓜林	1.02	62.3	41.5
	川滇桤木林	0.98	61.3	41.7
	云南松林	1.01	59.2	39.6
	银荆林	0.95	63.5	43.3
	墨西哥柏林	1.03	59.4	40.1
	云南松+旱冬瓜林	1.02	62.1	42.6
	滇石栎林	0.98	63.4	44.4

(2) 土壤孔隙度是评价土壤通透性和水源涵养潜力的重要指标之一,毛管孔隙的大小决定着土壤的田间持水能力,非毛管孔隙因孔隙直径大而有利于土壤通气透水,与土壤水分的渗透能力有密切关系,孔隙度的增加有利于土壤水分渗透<sup>[5]</sup>。由表 1 可知,经过 9 a 的植被恢复,土壤总孔隙度和毛管孔隙度均明

显增加,说明土壤的持水能力增强。不同植被恢复模式下土壤总孔隙度依次为:银荆林>旱冬瓜林>云南松+旱冬瓜林>川滇桤木林>墨西哥柏林>云南松林,这与土壤容重结论一致,土壤孔隙度增加则容重降低。

(3) 植被恢复后,土壤容重逐渐降低,土壤孔隙度则随之增加,这是由于植物根系生长和枯枝落叶物的形成,使得土壤通透性和稳定性增加,抗蚀性也随之增强,说明植被恢复对土壤物理性质具有很好地改善作用。由于树种不同导致不同植被恢复模式下土

壤物理性质存在一定差异,阔叶树种优于针叶树种,特别是 9 a 生银荆林的土壤容重和孔隙度已接近地带性植被(滇石栎林),一方面说明植被恢复能有效改善土壤的物理性状,另一方面说明银荆林的保水性能优于其余参试树种,值得在当地水土保持林营建中推广应用。

## 2.2 土壤化学性状

土壤化学性质分析主要是对土壤养分的分析,本文选取有机质、pH、全 N、全 P、全 K 等指标进行测定和分析。土壤化学性质及其变化见表 2。

表 2 不同植被恢复模式下土壤养分比较

年份	植被恢复模式	pH 值	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	CEC/ (cmol · kg <sup>-1</sup> )
2002	旱冬瓜林	6.95	27.23	1.82	0.37	12.32	123.42	1.98	71.34	87.72
	川滇桤木林	6.82	26.51	1.72	0.32	12.16	113.45	1.85	72.51	89.54
	云南松林	6.78	28.47	1.79	0.36	12.48	118.39	2.16	76.49	89.83
	银荆林	6.89	27.81	1.83	0.34	12.35	121.14	1.83	78.24	88.25
	墨西哥柏林	6.82	29.35	1.64	0.31	11.94	126.43	2.37	66.93	89.11
	云南松+旱冬瓜林	6.73	27.94	1.89	0.29	12.53	132.19	2.28	78.42	88.93
2005	旱冬瓜林	6.81	36.28	2.36	0.43	11.79	153.37	2.56	70.13	94.62
	川滇桤木林	6.76	35.92	2.57	0.48	11.68	148.26	2.61	73.45	93.37
	云南松林	6.76	36.73	2.41	0.42	12.13	141.25	2.73	72.38	91.74
	银荆林	6.71	38.24	2.75	0.53	11.39	159.25	2.86	70.35	98.45
	墨西哥柏林	6.85	37.85	2.23	0.38	12.01	142.51	2.94	77.17	92.53
	云南松+旱冬瓜林	6.84	39.28	2.86	0.76	12.14	152.64	3.12	76.42	99.26
2008	旱冬瓜林	6.65	51.43	3.26	1.16	12.31	172.19	2.78	72.46	121.27
	川滇桤木林	6.78	48.72	3.37	1.28	12.62	167.31	2.85	74.19	124.64
	云南松林	6.92	43.26	2.78	0.79	12.25	151.24	2.16	71.26	99.29
	银荆林	6.54	62.14	3.85	1.32	12.56	163.33	1.83	73.24	117.94
	墨西哥柏林	6.75	45.36	2.49	0.82	12.11	155.42	2.37	75.23	102.73
	云南松+旱冬瓜林	6.92	57.82	4.37	1.43	14.12	163.25	2.28	80.62	134.21
2011	旱冬瓜林	7.12	71.83	5.16	1.49	12.73	218.45	3.16	82.53	153.57
	川滇桤木林	7.21	74.63	5.42	1.62	12.54	226.24	3.52	85.42	142.83
	云南松林	6.75	51.25	4.67	1.26	11.47	178.32	2.98	88.43	113.45
	银荆林	7.19	73.56	5.81	1.72	11.35	216.35	3.76	79.26	143.17
	墨西哥柏林	6.89	52.84	4.73	1.35	12.21	182.47	3.12	87.33	124.73
	云南松+旱冬瓜林	7.13	81.37	5.93	2.16	12.42	219.13	3.58	88.17	168.32
	滇石栎林	7.14	125.88	6.83	2.25	11.83	531.42	4.61	82.34	223.44

(1) 土壤 pH 值主要取决于土壤中酸碱物质的多少,也是土壤的基本特性,也是影响土壤肥力和作物生长的重要因素之一。表 2 说明,植被恢复 9 a 后土壤 pH 值变化不大,呈中性,有利于植物的生长。

(2) 土壤有机质在矿化过程中能释放大量的供植物生长需要的营养物质,能增加土壤的保肥性和缓冲性、水稳性团聚体数量和土壤孔隙度,降低容重,促进微生物的活动,对改善土壤理化性质、增加土壤肥力有着极其重要的作用。经 9 a 的植被恢复,土壤有机

质变化明显,由平均 27.89 g/kg 增加到平均 67.58 g/kg,平均增幅达 142.35%。云南松+旱冬瓜林增幅最大,达到 191.23%,其次是川滇桤木林;几种群落的有机质增幅依次是云南松+旱冬瓜林>川滇桤木林>银荆林>旱冬瓜林>墨西哥柏林>云南松林,这是由于阔叶树种的枯枝落叶物容易腐烂分解,而针叶树种的枯枝落叶物因含油脂难分解造成的。

(3) 云南省土壤平均全 N、全 P、全 K、速效 N、速效 P、速效 K 含量分别为 2.4 g/kg,0.8 g/kg,14.4 g/

kg, 161.7 mg/kg, 14.08 mg/kg, 168.08 mg/kg<sup>[6]</sup>。从表中看出,土壤全 N、速效 N 含量丰富,全 P、速效 P 缺乏,全 K、速效 K 含量中等偏低,所以试验区应重视磷钾肥的施用。植被恢复 9 a 后,全 K 变化不大,其余土壤各养分均明显增加,土壤全 N、全 P、速效 N、速效 P、速效 K 分别平均增加 196.7%, 382.4%, 68.8%, 61.4%, 15.1%, 58.6%。全 N 以银荆林增幅最大,其次是川滇桫木林和云南松+旱冬瓜林,分别达 217.5%, 215.1%, 213.8%;全 P 以云南松+旱冬瓜林最高,其次是银荆林和川滇桫木林,增幅分别为 644.8%, 406.3%, 405.9%;速效 N 以川滇桫木林最高,为 226.2 mg/kg,其次是银荆林和旱冬瓜林,增幅分别为 99.4%, 78.6%, 77.0%;银荆林的速效 P 增幅最大,达 105.5%,速效 K 以墨西哥林增幅最大为 30.5%。

(4) 土壤阳离子交换量(CEC)的大小基本代表了土壤保持的养分数量,交换量大表明保存养分的能力大,反之则弱,也是评价土壤能力的指标之一。退耕还林前 CEC 平均为 88.90 cmol/kg,保肥力弱,经 9 a 的植被恢复后,CEC 上升为平均 141.01 cmol/kg,肥力中等,平均增幅为 58.6%;其中云南松+旱冬瓜林增幅最大,达 89.3%。几种群落的增幅依次是云南松+旱冬瓜林>旱冬瓜林>银荆林>川滇桫木林>墨西哥柏林>云南松林,这与土壤养分的增幅基本一致。

### 2.3 土壤肥力综合评价

在土壤肥力评价中,单项指标不能全面反映出土壤的肥力水平,灰色系统理论采用多项指标关联分析方法作系统分析,能较好地反映土壤的肥力水平<sup>[7]</sup>。本文选用土壤容重、总孔隙度、有机质、全 N、全 P、全 K、速效 N、速效 P、速效 K 和 CEC 作为综合评价土壤肥力的灰关联度指标进行比较。不同植被恢复模式下土壤养分的灰关联度分析结果见表 3。由表 3 可知,退耕还林前,各试验小区的土壤肥力差异不大,随着植被恢复的进程,土壤肥力逐渐提高;随着林木生长量的增加,土壤肥力显著增加,说明植被恢复能有效改良土壤并提高土壤能力。由于营建树种不同,土壤肥力差异逐渐显现,云南松+旱冬瓜林土壤肥力增幅最大(61.23%),且肥力最高(0.818 9),其次是银荆林和川滇桫木林,不同植被恢复模式下 9 a 后的土壤能力依次是云南松+旱冬瓜林>银荆林>川滇桫木林>旱冬瓜林>墨西哥柏林>云南松林,说明由于树种不同导致土壤改良作用差异,针阔混交林改良作用最好,其次是阔叶林,建议在退耕还林和中低产林等工程中多营建针阔混交林和阔叶林。

表 3 土壤肥力灰关联度

植被恢复模式	2002 年	2005 年	2008 年	2011 年
旱冬瓜林	0.4918	0.5402	0.6388	0.7506
川滇桫木林	0.4857	0.5486	0.6493	0.7715
云南松林	0.5027	0.5428	0.5749	0.6814
银荆林	0.4939	0.5641	0.6521	0.7755
墨西哥柏林	0.4927	0.5517	0.5801	0.6986
云南松+旱冬瓜林	0.5079	0.5914	0.6887	0.8189
滇石栎林	—	—	—	0.9728

## 3 结论

(1) 滇中地区土壤有机质及氮含量丰富,但磷、钾偏低。退耕还林 9 a 后土壤物理性状有较大改善,表现为土壤容重降低,稳定性增强,孔隙度增多,土壤通透性增强,同时抗蚀性增强;化学性质表现为土壤有机质增加,养分增多,阳离子交换量增加,保肥性增强,土壤肥力提高。

(2) 从肥力综合评价来看,随着植被恢复的进程,土壤肥力逐渐提高,说明植被恢复能有效改良土壤并提高土壤肥力,且随着林木生长量增加,土壤肥力增加趋势更加显著。退耕还林 9 a 后,云南松+旱冬瓜林土壤肥力增幅最大,且肥力最高,其次是银荆林和川滇桫木林;不同植被恢复模式下的土壤肥力依次是云南松+旱冬瓜林>银荆林>川滇桫木林>旱冬瓜林>墨西哥柏林>云南松林,说明由于树种不同导致土壤改良作用差异,针阔混交林改良作用最好,其次是阔叶林,建议在退耕还林和中低产林等工程中多营建针阔混交林和阔叶林。

### 参考文献:

- [1] 李裕元,邵明安,陈洪松,等. 水蚀风蚀交错带植被恢复对土壤有机质和氮素的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 10-15, 29.
- [2] 中国科学院南京土壤所. 土壤理化性质分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1987.
- [3] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996, 1-41.
- [4] 李晓刚, 庞奖励, 黄春长, 等. 洛川塬土地利用变化对土壤肥力质量的影响[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2010, 38(1): 95-96.
- [5] 陈风琴, 石辉. 缙云山常绿阔叶林土壤大孔隙与入渗性能关系初探[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2005, 30(2): 350-353.
- [6] 云南省土壤肥料工作站, 云南省土壤普查办公室. 云南土壤[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1996.
- [7] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1991.