

贡嘎山山地暗针叶林带 自然与退化生态系统生态功能特征

钟祥浩, 罗 辑

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 通过贡嘎山暗针叶林带典型区自然与退化生态系统生物量、净初级生产量、光合生理特征、土壤 CO_2 排放通量及土壤温度变化等内容的观测研究, 从一个侧面揭示了研究区山地暗针叶林带不同森林生态系统类型生态功能的现状特征。自然型生态系统生物量和净初级生产量分别具有耐阴的光合特性, 水分利用速率较高, 而蒸腾速率较低。轻度、中度和重度退化生态系统生物量分别为 367.01 、 121.80 和 0.51 t/hm^2 , 净初级生产量分别为 9.86 、 5.64 和 $0.35 \text{ t/hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$; 退化生态系统建群种光饱和点、净光合速率及蒸腾速率均比自然生态系统建群种高, 而水分利用效率则相应较低。另外, 不同生态系统类型土壤 CO_2 排放量与地面生态系统结构和 5 cm 深土壤温度有密切的关系。

关键词: 山地暗针叶林; 退化; 生态功能; 贡嘎山

中图分类号: S718.55^{+3} ; 18.55^{+6} **文献标识码:** A

山地暗针叶林带泛指分布于亚热带纬度位置海拔 $2\ 800(2\ 900) \text{ m}$ 以上云杉(*Picea*)和冷杉(*Abies*)为建群种的森林植被带。有人称之为亚高山暗针叶林^[1]; 另有人称为高山暗针叶林^[2]。该植被带具有阴暗、潮湿的生态环境特征, 在横断山地区有大面积的分布, 是该地区山地植被垂直带谱中的优势带。其分布最高上限为 $4\ 200(4\ 300) \text{ m}$, 带幅宽达 $1\ 400 \text{ m}$ 左右, 该植被带森林资源丰富, 是我国第二大林区——西南林区的主体组成部分。由于其分布海拔较高, 且多位于江河上源, 对江河中下游生态环境有重要影响。近来被中国政府确定为实施天然林保护工程的重要地区。

过去, 由于人为的不合理采伐和局部地区自然灾害的影响, 在山地暗针叶林带分布区出现多种类型的受损森林生态系统, 我们称之为退化森林生态系统(本文简称为退化生态系统)。近来, 随着自然保护工作的加强, 特别是实施天然林保护工程以来, 以前呈逆向演替的退化森林生态系统, 开始朝正向演替方向发展。与未受干扰的自然顶极森林生态系统相比较, 我们把受干扰和近来正朝正向演替方向发展的森林生态系统统称之为退化生态系统。

由于破坏程度和自然恢复演替时间的不同, 因此, 退化生态系统的类型比较多样, 它们的生态功能

特征也不一样。因此, 了解这些不同退化生态系统功能的变化及其恢复状况, 对指导天然林保护工程的实施有重要的意义。为了能科学地评价退化生态系统的功能的变化, 首先需要了解原始状态下的自然顶极森林生态系统的功能特征。

森林生态系统具有多种生态功能, 植被光合作用是其中之一, 有关贡嘎山亚高山森林系统植被光全作用已有报道^[3]。本文着重对典型区森林生态系统光合生理过程中的能量转换及有机物质(生物量)的生成与土壤 CO_2 排放特征进行探讨。

1 研究区域与方法

研究区位于四川省西部贡嘎山东侧海螺沟海拔 $3\ 000 \text{ m} \sim 3\ 100 \text{ m}$ 的地段, 其中有泥石流活动形成的扇形地, 坡度 $7^\circ \sim 12^\circ$, 面积约 0.5 km^2 , 其上分布有不同退化程度的生态系统类型。扇形地周围为原始状态的自然森林生态系统, 群落建群种为峨眉冷杉(*Abies fabri*), 可称为自然峨眉冷杉林生态系统。

根据扇形地左侧海拔 $3\ 000 \text{ m}$ 气象观测站资料, 研究区年均温 3.7°C , 七月均温 12.7°C , 1 月均温 -4.5°C , $\geq 10^\circ \text{C}$ 活动积温 950°C , 年均降水量 $1\ 817 \text{ mm}$, 年均相对湿度 90.2% , 年日照 880 h , 日照

收稿日期: 2001-03-14。

基金项目: 中国科学院重点资助项目(95-983108)。

作者简介: 钟祥浩(1942-), 男(汉族), 广东五华人, 研究员。主要从事山地环境生态研究。

百分率20 %。可见,气候寒冷而潮湿。根据退化生态系统退化程度的不同,我们选择了三种退化生态系统类型和一种自然森林生态系统类型(作为对照类型)进行重点研究。

在上述四种类型中,共布设了16块观测样地,样地面积为100 m²~500 m²。观测调查时间为1998~1999年。生物量的测定采用收获法;光合生理过程有关项目的测定,采用美国制造的CI-301PS CO₂分析仪;林冠上空太阳辐射、光合有效辐射等项目的测定,采用中国长春气象研究所生产的TBQ-4-1型分光辐射传感器。四种被观测调查的生态系统类型形成年代的确定,采用枝轮法和树木年轮法。

2 研究结果

2.1 自然和退化生态系统的群落特征

为了叙述的方便,对被确定重点调查观测的四种类型取名如下:自然型、轻度退化型、中度退化型和重度退化型,并分别以英文大写字母N、L、M、H表示。各类型的群落特征简述如下:

N型,为原始状态下的自然峨眉冷杉林生态系统,群落形成年龄为170 a,属于开始进入顶极状态的原始峨眉冷杉林群落。建群种为峨眉冷杉,树高35 m~42 m,密度145 株/hm²,林冠层盖度0.70,有林木衰老死亡形成的林窗。次林层比较明显,组成树种为糙皮桦(*Betula utilis*)和五尖槭(*Acer maximowiczii* pax);灌木层较发育,盖度0.5,主要种群为美容杜鹃(*Rhododendron calophyllum*)、冰川茶子(*Rioes glaciae*)、桦叶英迷(*Viburnum befulifolium*)和心叶英迷(*Viburnum cordifolium*)多种绣线菊(*Spiraea* sp.)等。草本亦较发达,主要种类有鹿药(*Smilacina japonica*)、多种苔草(*Carex* sp.)以及水金凤(*Impatiens nolitangere*)、冷水花(*Pilea* sp.)和石松(*Lycopodium annotinum*)等。

L型,是峨眉冷杉和冬瓜杨(*Populus Purdomii*)兼有的针叶阔叶混交林,群落形成年龄为92 a,主林

层以峨眉冷杉为主,树高在22 m~30 m,密度为850 株/hm²;冬瓜杨处于次林层地位,树高17 m~22 m,密度110 株/hm²,糙皮桦已开始进入次林层。主林层和次林层形成较大的盖度,达0.8~0.9,因此林下灌木和草本植物较少,灌木有心叶英迷和更耐阴的绒毛杜鹃(*Rh. pachytrichum*)。草本有山酢浆草(*Oxalis griffithii*)和水金凤等。

M型,是以冬瓜杨和川滇柳(*Salix rehderana*)为建群种和峨眉冷杉优势木已进入主林层的阔叶针叶混交林,群落形成年龄为52 a。冬瓜杨树高17 m~22 m,密度415 株/hm²,川滇柳(*Salix rehderana*)树高13 m~18 m,密度114 株/hm²,出现衰老死亡现象,峨眉冷杉优势木树高14 m~20 m,密度1100 株/hm²。由于川滇柳的逐步死亡,出现一定的林窗,因此,林下灌木和草本较发育,灌木主要有悬钩子(*Rosa tricolor*)、冰川茶子和大叶冷水花和桦叶英迷;草本植物有水金凤、黄水枝(*Clintonia udensis*)和七筋姑(*Tiarella polyphylla*)等。

H型,为峨眉冷杉林彻底破坏后的8 a生迹地型退化生态系统,自然状态下,植被自然更新状况好,有多种悬钩子(*Rosa tricolor*, *Rubes mesogaeus*)和多种乔木树种幼苗(冬瓜杨、川滇柳、峨眉冷杉等)混生,并有较多的早熟禾(*Poa penoralis*)和马蹄莲(*Zantedeschina aethiopica* (L.) spranger)等较不耐阴植物。

2.2 自然型与退化型生态系统的生物量和净初级生产量特征

不同退化生态系统类型与自然生态系统类型植物群落的生物量和净初级生产量情况见表1。

从表1看出,原始状态下的自然峨眉冷杉林生态系统植物群落(N型)总生物量和净初级生产量都最高,除立枯量比L型和M型低和层间植物生物量比L型低外,其它各层生物量均处于最高的水平。轻度退化的针叶阔叶混交林生态系统植物群落(L

表1 自然型与退化型生态系统植物群落生物量与净初级生产量¹⁾

Table 1 Biomass and net primary productivity to the plant communities to the natural and degraded ecosystem

类型	乔木层	灌木层	草本层	地被层	层间植物	凋落物	立枯量	总生物量	净初级生产量
N型	321.033	12.689	1.183	16.831	0.108	3.637	6.697	351.844	11.335
L型	257.368	1.481	0.454	7.536	0.177	1.186	40.723	267.015	9.862
M型	114.414	4.051	0.834	2.456	0.047	3.161	17.435	121.802	5.645
H型	0.469	0.008	0.027	0.005	—	0.023	0.002	0.509	0.346

1) 单位: 生物量(t/hm²), 净初级生产量(t/hm²·a⁻¹)。

型)总生物量为 N 型的 75.89 %, 净初级生产量为 N 型的 87.0 %。中度退化的阔叶针叶混交林生态系统植物群落(M 型)总生物量只有 N 型的 34.62 %, 净初级生产量为 N 型的 49.80 %。重度退化的 8 年生迹地生态系统生物量和净初级生产量都处于极低水平。

从表中看出, 轻度退化生态系统灌、草层生物量均比中度退化生态系统低, 其原因在于峨眉冷杉林在这期间得到快速生长, 控制主林冠层, 盖度达 0.8 以上, 同时主林层下还有一定数量的冬瓜杨阔叶林, 两者形成比较郁闭的林下环境, 灌、草植被不易发育, 而耐阴的苔藓地衣植物得到较好的生长。此外, 这期间冬瓜杨出现较大量的衰老死亡, 所以立枯量比较高。冬瓜杨及前期川滇柳等落叶阔叶林的生长为峨眉冷杉林的生长创造了良好的生态环境条件, 随着冬瓜杨的大量死亡, 峨眉冷杉得到快速生长, 并成为这期间群落生物量的主要贡献者, 乔木层生物量占群落生物量的 96.38 %, 既高于 M 型, 也高于 N 型。但是其总生物量还远比不上 N 型, 从这一点上说来, 它还是属于一种不健全的退化生态系统类型。

M 型中的灌木、草本层生物量较高的原因在于这期间与冬瓜杨一起进入主林层的川滇柳出现大量衰老死亡的现象。川滇柳的死亡, 形成一定面积的林窗, 这为灌、草植被的发育提供了较多的光照资源, 特别是灌木层生物量得到较明显的提高, 它在 M 型植物群落总生物量中占 3.32 %, 接近于 N 型灌木层生物量在群落总生物量中的比例。但是 M 型群落总生物量只有 L 型的 45.62 %。显然, 相对于 N 型来说, 其退化程度还是比较明显的。

作为重度退化的 H 型, 其各层生物量中的乔木层(实质上乔木树种幼苗)生物量占绝对的优势。可见, 在湿度条件较高的峨眉冷杉林分布区, 迹地的更新中, 乔木树种得到较快的更新, 其中冬瓜杨和川滇柳生长发育特别快。

我们对 N 型和 L 型植物群落中的乔木层、灌木层、草本层的叶面积指数进行了调查测定与计算, 其结果见表 2。

表 2 N 型和 L 型乔、灌、草本层叶面积指数
Table 2 Leaf area indexes to tree, shrub and herb parts to the N and L types

类型	乔木层	灌木层	草本层	总计
N	4.537	3.291	1.143	8.970
L	7.620	0.375	0.032	8.030

从表 2 可知, 作为进入顶极群落状态的自然峨眉冷杉林乔木层叶面积指数并不高, 比轻度退化类型低约 60%, 而灌木层和草本层叶面积指数均高于轻度退化类型。N 型群落总叶面积指数比 L 型高。产生这种现象的原因, 在于进入顶极状态的自然峨眉冷杉林出现较大面积的林窗(少量衰老林木的死亡形成), 这为林下灌木层、草本层以及地被层的发育提供了有利的条件, 使这些林下植物得到较好的发育。可见, 原始状态下的自然顶极森林生态系统具有自身调节生态资源特别是光能资源在各层次中合理分配的功能, 这样就使得其生物量、生产力以及保土保水、调节气候等生态功能达到最高的水平。而未进入顶极状态的其它森林生态系统缺乏对生态资源合理分配的能力, 表现在它们的整体生态功能上是不高的或者有缺陷的, 所以称它们为退化的生态系统。

上述分析可以得出这样一个认识, 所有退化森林生态系统的生产力功能都比不上原始状态下的自然森林生态系统, 其中的重要原因之一是生态资源特别是光能资源没有得到充分合理的利用, 表现在乔、灌、草等各层叶面积指数比例的不协调。

2.3 自然型和退化型生态系统光合生理特征

森林生态系统的光合作用是植物生产力的基本因素, 一定时间内生物量积累的测定常被认为是光合作用的一种测量。森林生态系统植物光合作用的强弱, 决定了净初生产力的大小。不同地区不同森林生态系统类型光合作用的生理过程不同, 同一地区(地段)不同植物组成的森林生态系统类型光合作用的生理过程也不一样。表现在它的生物量和净初级生产量有差别。按此原理, 我们对研究区自然型和退化型生态系统优势种群和部分灌木、草本层有关种的光合生理特征进行了测定, 结果见表 3。

森林生态系统各组成成分之间的能量交换是生态系统的基本功能之一。太阳辐射是进入生态系统的主要能源, 但其中只有 400 nm ~ 700 nm 可见光部分的辐射才能被绿色植物的光合作用所利用, 到达森林的光合有效辐射能被森林植被吸收利用的, 又只是很少的一部分。被森林植被吸收的光合有效辐射用于物质的合成与固定, 同时驱动水分循环和养分循环并最终形成森林生态系统的各种服务功能。

表 3 不同生态系统类型优势种群光合生理有关指标¹⁾

Table 3 Some indexes to photosynthetic physiological features of the dominant species to the different ecosystem types

物种	样本数 ²⁾	光补偿点	光饱和点	最大净光合速率	净光合速率	蒸腾速率	水分利用效率	层片	生态系统类型
峨眉冷杉 (一年生叶)	46/358	6.683	346	13.80	6.617	0.635	10.420	乔木	N
峨眉冷杉 (二年生叶)	33/346	4.991	368	10.17	5.3396	0.493	10.878	乔木	N
峨眉冷杉 (阴叶)	42/381	4.648	140	9.97	4.671	0.325	14.372	乔木	N
冬瓜杨	59/1472	28.863	2081	27.32	11.655	2.874	4.055	乔木	M、L
川滇柳	27/146	18.880	1995	19.76	10.422	1.953	5.336	乔木	M、L
桦叶荚迷	27/146	26.034	115.5	16.78	9.638	1.183	8.17	灌木	M、L
悬钩子	34/274	13.451	424	22.21	8.603	1.223	7.034	灌木	H、林缘
早熟禾	16/65	12.504	1071	22.51	9.572	1.274	7.513	草本	H、林缘
马蹄莲	65/1538	34.523	1232	21.12	14.829	2.083	7.119	草本	H、林缘

1)除水分利用效率单位为 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 外,其余有关物理量单位均为 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$;
2)此栏各物种数值的分子为样本数,分母为平均光合速率的样本数。

从表 3 中可看出,不同森林生态系统类型的乔木层优势种群对光合有效辐射的利用是很不相同的。作为适应阴暗潮湿生态环境的峨眉冷杉,它的光饱和点不高,亦即在光合有效辐射(PAR)没有超过 $346\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ (一年生叶)以前,光合速率随光照的增强而迅速增加,研究中发现,超过此值后,光合速率下降。二年生叶和阴叶也有相似的特性,其中阴叶虽光合速率不高,但有充分利用弱光的特性。同时,峨眉冷杉还表现出水分利用速率较高,而蒸腾速率较低的特点,这就不能理解峨眉冷杉非潮湿阴暗的环境不长。峨眉冷杉林一旦遭破坏,阴暗潮湿环境发生改变,光照增强,为其它剩存峨眉冷杉树木所不适应,进而被喜阳植物所占据。

表 3 清楚地反映出,冬瓜杨和川滇柳是比较喜阳的植物,光饱和点分别高达 $2081\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $1995\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$,高出峨眉冷杉 6~14 倍。在峨眉冷杉林被破坏出现光照条件较好的地方,冬瓜杨和川滇柳能够迅速的成长,净光合速率和最大净光合速率都远高于峨眉冷杉,生物量积累很快,使小生境朝着有利于峨眉冷杉生长的方向发展。但是,以冬瓜杨和川滇柳为建群种的森林生态系统,对水分的利用效率较低,蒸腾速率比较大。从水源涵养功能考虑,大面积的冬瓜杨和川滇柳生态系统的出现,将会减少地下水对江河的补给。可见,在横断山地区山地暗针叶林分布带,实施天然林保护工程,对保护和改善江河上源水源涵养功能的重要性不言而喻。

上述分析表明,研究区退化森林生态系统的功能退化不仅表现在生物量和生产力方面,还表现在

对生态资源利用的分配上不合理,加大水分的蒸腾,降低水源涵养功能的作用。

研究中发现,研究区的大部分灌木和草本植物的蒸腾速率都较低,而水分利用效率比较高。但是在峨眉冷杉林受到破坏的地方和在峨眉冷杉林缘处,其中不少灌木和草本植物表现出较高的光合速率和蒸腾速率。如表中所列悬钩子、早熟禾和马蹄莲在迹地和林缘处有较多的分布,并表现出较高的光合速率和蒸腾速率。退化森林生态系统中的灌木和草本,大多数都具有与喜阳建群种有似的光合生理特性。

2.4 自然型与退化型生态系统土壤 CO₂ 排放特征

不同生态系统下的土壤特性是不一样的。原始状态下的自然峨眉冷杉林下土壤为山地暗棕色森林土,土层较厚,有机质含量较高,0 cm~7 cm 有机质含量为 536.36 g/kg,7 cm~15 cm 为 163.74 g/kg,15 cm~35 cm 为 83.13 g/kg。轻度退化生态系统(L 型)土壤表层 0 cm~8 cm 有机含量达 565.33 g/kg,明显比前者高,但是 8 cm~20 cm 土层有机质含量只有 9.22 g/kg,比前低得多。中度和重度退化生态系统土壤有机质富集与 L 型相似特点,即表层含量高,表以下低。

土壤 CO₂ 排放的强弱与土壤类型有关,更确切地说与土壤微生物活动和植物根系呼吸有关,而后者又与土壤温度状况有密切关系。不同生物系统类型土壤温度状况、微生物活性及植物根系呼吸强弱是不同的。反应在土壤 CO₂ 的排放有差别。同过 1998—1999 年 5—11 月不同生态系统类型土壤 CO₂

排放通量的测定(结果见表4),发现迹地退化型(H)最高,轻度退化型最低,而无退化的自然型居中。

表4 不同类型生态系统土壤 CO₂ 排放通量
Fig. 4 Number of CO₂ release in Soil to of the different ecosystem types

月份	H 型	L 型	N 型
5	285.04	261.74	200.42
6	465.32	164.91	229.62
7	408.52	202.65	304.36
8	510.14	199.20	329.14
9	564.16	145.07	257.33
10	318.04	115.76	199.28
11	22.62	66.17	183.58
平均	233.91	123.76	218.48

出现上述情况的原因:①与地面生态系统结构有关。H型地表只有稀疏的灌、草植被,地表和土壤升温较快,温度高有利于地表有机物质的分解,因而出现CO₂的排放大于吸收;L型中的峨眉冷杉处于旺盛生长的时期,而且林下有一定数量的冬瓜杨阔叶树,郁闭度较高,地表光照作用弱,土壤温度相对偏低,因而出现CO₂的排放小于吸收;N型生态系统结构处于最佳状态,乔、灌、草层搭配合理,地表升温作用既慢于H型,又高于L型,因而出现对CO₂的吸收与排放处于相对的平衡状态。②可能与5cm深处的土壤温度有较密切的关系。根据我们对这三种类型5cm深处土壤温度的观测(见图1),发现5~11月份,H型土壤温度明显高于其它两种类型,而N型土壤温度恰好介于H型与L型之间。从而进一步说明无退化的自然生态系统土壤CO₂的排放与吸收处于一种比较协调的状态。因此,218.48 kg hm⁻²·d⁻¹可作为评价森林生态系统是否处于退化状态的一个参考指标。

3 小 结

通过自然与退化森林生态系统生物量、净初级

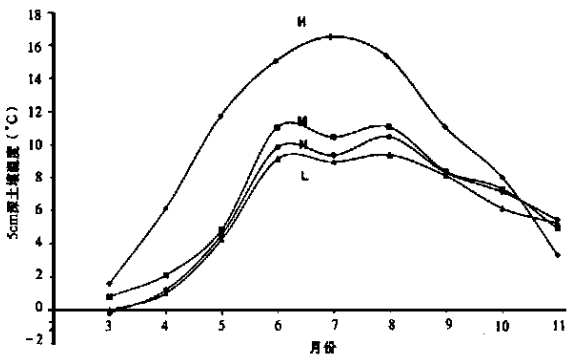


图1 不同生态系统类型5 cm深处土壤温度(月均值)变化对比图
Fig. 1 Comparison graph to mean monthly temperature in Soil of 5cm deep of the different ecosystem types

生产量、光合生理特征和土壤CO₂排放通量及其与土壤温度之间关系等方面的研究,从一个侧面揭示了研究区暗针叶林带森林生态系统功能的现状特征。进入顶极状态的自然峨眉冷杉林生态系统的生物量、净初级生产量、光合生理过程中的有关参数以及土壤CO₂排放通量等可以作为评价退化森林生态系统退化度的参考指标。通过自然与退化森林生态系统上述功能特征的研究,从另一个侧面揭示了青藏高原东缘横断山区山地暗针叶林带原始冷、云杉林生态系统一旦受到破坏,在自然条件下,恢复到最佳结构与功能状态,需要很长的时间。对贡嘎山峨眉冷杉林分布带来说,起码要100a以上。可见,在山地暗针叶林分布区实施天然林保护工程,建设功能高效和服务功能多样的山地暗针叶林生态系统,不仅要对其重要性有足够的认识,而且对其长期性要有充分的思想准备。

参考文献:

[1] 李承彪. 四川森林生态研究[M]. 四川科学技术出版社, 1990. 3~53.
[2] 蒋有绪. 川西高山暗针叶林群落特点及其分类原则[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1963. 1(1~2): 40~50.
[3] 杨清伟, 程根伟, 罗辑, 等. 贡嘎山东坡亚高山森林系统植被光合作用[J]. 山地学报, 2001, 19(2): 115~119.

Study of Characteristics of Ecological Function of the Natural and Degraded Ecosystems in the Mountain Dark Coniferous Forest Zone in Mt. Gonggashan

ZHONG Xiang-hao and LUO Ji

(*Institute of Mountain Hazards and Environment of Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041 China*)

Abstract: Biomass, net primary productivity, photosynthetic physiological features, number of CO₂ release and temperature in soil of the natural and degraded ecosystems in the case study area in the Gongga Mountain were studied. Characteristics of ecological function of the different forest ecosystem types in the mountain dark coniferous forest zone in the studied area were revealed, through the study mentioned above.

Biomass and net primary productivity of the natural ecosystem are 351.84 t/hm² and 11.33 t/hm²·a⁻¹ respectively, of which the constructive species (*Abies fabri*) has low photo-saturation point and transpiration rate, and high water utilization rate and photosynthetic rate under dark eco-environment condition. Biomasses of light, middle and heavy degraded ecosystems are 267.01, 121.80 and 0.51 t/hm² respectively, and net primary productivities are 8.86, 5.64 and 0.34 t/hm²·a⁻¹. Photo-saturation point, net photosynthetic rate and transpiration rate of the constructive species of the degraded ecosystems are much higher than that of the constructive species of the natural ecosystem, but water utilization rate is very low.

Moreover, a number of CO₂ release from soils of the different degraded ecosystems relate with ecosystem structures and temperature of soil of 5 cm deep.

Key words: dark coniferous forest; degradation; ecological function; Mt. Gonggashan