**《应用与环境生物学报》论文模板与说明**

**作者须自行邀请科技英语专业人员或者英语为母语人士帮助修订全文的英文部分**，包括英文题目、摘要、关键词和图表英文及英文正文等，务必保证英文表达正确流畅。

**拉丁学名的属名及以下的种名、变种名须斜体（在全文文字、图表、文献中都如此；品种名放入单引号内）**，属名首字母大写，属以上（不含属）的拉丁名、定名人、“var.”、“sp.”、“ssp.”、“spp.”等用正体；拉丁学名第一次出现时用全称，如不混淆以后使用属名可简写为首字母加点（中文摘要、英文摘要、正文、每个图、每个表分开考虑）。

**符号使用及其上下标、正斜体形式须准确（在全文文字、图表、公式、文献中都统一）**。

基因名斜体。限制性酶前3个字母斜体。表示物质构型、构象、旋光性、取代基位置的字母用斜体。

依照《GB 3100-3102—93 量与单位》使用计量单位名称和符号。量符号斜体，单位符号正体。

**数值与单位符号（包括“℃”）间须空1格（文、图、表中都如此），**但与“%”、“′”、“″”、“°”间都不空格。

小数点前或后超过3位数字的数值以小数点为中心3位一空，如1 234.567 8，但在图、表、公式中不空格。

**全称简称不得交替使用**（中文摘要、英文摘要、正文、每个图、每个表分开考虑，图表使用非国际公知通用简称须作中、英文注解）：简单术语可不设简称/缩略语，如其中有公式要使用或为便于全域和行业理解，可在术语第一次出现时写为全称（简称/缩略语），后面文字仍都用全称；复杂术语第一次出现写为全称（简称/缩略语）后，后面文字中出现都直接用简称/缩略语。

**标点符号和运算符号写法：**

在中文部分用宋体，顿号“、”，逗号“，”，分号“；”，冒号“：”，问号“？”，引号““””和“‘’”，括号“（）”，破折号“——”，省略号“……”，连接号“—”、“–”和“-”以及加号“＋”，减号“－”，加减号“±”，乘号“×”，除号“÷”，等号“＝”，大于小于符号“＞”、“＜”、“≥”和“≤”，比例号“:”等，前后都不空格。

在西文（含字母、数字）部分用Times New Roman体，逗号“,”，点号“.”，分号“;”，冒号“:”，问号“?”，其后空一格；引号““””和“‘’”，括号“()”，均作为整体前后各空一格；破折号“—”，省略号“…”，前后不空格；加号“+”，减号“-”，加减号“±”，乘号“×”，除号“÷”，等号“=”，大于小于符号“>”、“<”、“≥”和“≤”等，前后各空一格。

全文数字及英文部分（包括图表、公式中的数字及英文）都用Times New Roman体（可先设置全文为宋体，再设置全文为Times New Roman体）。全文采用单倍行距。

**川西亚高山森林土壤有机层碳、氮、磷储量特征**

邓仁菊1 杨万勤1, 2\*\* 张 健1胡建利1 冯瑞芳1 简 毅1 林 静1

1四川农业大学林学园艺学院 雅安 625014

2中国科学院成都生物研究所 成都 610041

**摘 要** 土壤有机层（OL）是高寒森林生态系统中极具特征的重要组成部分，为揭示土壤有机碳（OC）固定机制，同步研究川西亚高山云杉林（*Picea purpurea* Masters，SF）、冷杉林（*Abies faxoniana* Rehder & E. H. Wilson，FF）和白桦林（*Betula platyphylla* Sukaczev，BF）生态系统土壤有机层和矿质层（MS）的有机碳、全氮（TN）及全磷（TP）储量特征。**结果显示**，所有土壤剖面上的有机碳和易氧化有机碳（ROC）含量均随土壤深度增加而降低，即未分解层＜半分解层＜完全分解层＜腐殖质层＜淀积层＜母质层。云杉林、冷杉林和白桦林土壤有机层的有机碳储量分别为29.38 (± 1.28)、22.70 (± 1.20)和8.63 (± 0.95) t/hm2，矿质土壤中分别为17.84 (± 1.92)、19.74 (± 1.76)和14.92 (± 1.64) t/hm2。冷杉林和白桦林的土壤剖面上的全氮和全磷含量大小顺序为半分解层＜完全分解层＜腐殖质层，但腐殖质层＞淀积层＞母质层。云杉林、冷杉林、白桦林土壤有机层的全氮储量分别为0.85 (± 0.11)、0.68 (± 0.06)和0.36 (± 0.03) t/hm2，全磷储量分别为0.29 (± 0.03)、0.22 (± 0.03)和0.06 (± 0.02) t/hm2。**本研究表明**人为干扰导致的林地微气候变化和全球变暖等导致的微生物活性升高可能对研究区域内的土壤碳源/汇格局产生深远影响，土壤腐殖质层氮和磷储量的分布格局可能是维持亚高山林木营养与生长的重要生态学机制之一。（图2 表2 参22）

**研究论文摘要须包括目的、方法、结果、结论4个要素：**

“**目的**”简要介绍研究背景、目的和主题（避免常识，避免与题目重复），“**方法**”描述研究的原理、对象、材料、条件、实验设计和统计学方法等（目的部分和方法部分可连用为1句话，最好为背景、目的、方法、主题各一个分句）；“**结果**”适当详细地提供研究得到的**定量**重要数据和定性主要结果（3-5句；含统计学处理结果；具有创新点）；“**结论**”简明表达研究的主要结论性观点以及客观准确的评价/建议（最好为观点和评价各半句共同凝练成1句话的结论；**结论性观点必需**，评价不必需）**。**

**综述摘要须包括“背景—综述和列述—结论与展望”3个要素：**

“**背景**”（1-2句）简要介绍研究背景和主题；“**综述和列述**”（3-5句）包含①全文概述、②总结性的进展列述和③**重点/亮点研究适当详述**；“**结论与展望**”（1-2句）要有观点、评价/建议等**实质性**内容**。**

**确定中文摘要（350-500字）后，英文摘要（200-500词）内容须与之一致、可适当详细。**

**关键词**  土壤有机层；碳储量；氮储量；磷储量；亚高山森林

**关键词5-8个[**须具有主题性、科学性、规范性、意思单一以及高检索概率和利用效率；**不能仅仅只来自题目和摘要，应从全文概括；关键词用术语全称、尽量不用简称/缩略语（如必要可放括号内）]。**

收稿日期 Received: 2017-01-16 接受日期 Accepted: 2017-03-14

国家自然科学基金项目（30471378）、国家“十一五”重大科技支撑计划课题（2006BAC01A11）、四川省青年科技基金项目（07JQ0081）、四川农业大学“人才引进项目”和四川省重大应用基础研究计划项目资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (30471378), Key Sci-tech Project of “11th 5-year Plan” of China (2006BAC01A11), Youth Science and Technology Foundation of Sichuan, China (07JQ0081), Talent-Recruiting Program of Sichuan Agricultural University, and Key Project of Applied & Basic Research of Sichuan

\*\*通讯作者 Corresponding author (E-mail: [yangwq@cib.ac.cn](mailto:yangwq@cib.ac.cn))

**脚注都同时使用中文和英文。给出通讯作者的E-mail。**六号。

**Carbon, nitrogen and phosphorus storage in soil organic layer of the subalpine forests in western Sichuan**

DENG Renju1, YANG Wanqin1, 2\*\*, ZHANG Jian1, HU Jianli1, FENG Ruifang1, JIAN Yi1 & LIN Jing1

1 *Faculty of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University*,Ya’an 625014, China

2 *Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences*,Chengdu610041, China

**Abstract**

***Objectives:*** For a comprehensive understanding of the organic carbon fixation mechanism of the alpine forest ecosystem, the biological element reserve in soil organic layer is needed to be known. This paper aimed to study the role of soil organic layer in the cycles of C, N, and P in the typical subalpine forests of western Sichuan of China.

***Methods:*** Distribution characteristics of organic carbon (OC), readily oxidized carbon (ROC), nitrogen (N) and phosphorus (P) in soil organic layer (OL) and mineral soil (MS) were investigated in the three typical forests of spruce (*Picea purpurea* Masters) (SF), fir (*Abies faxoniana* Rehder & E. H. Wilson) (FF) and birch (*Betula platyphylla* Sukaczev) (BF).

***Results:*** The OC stock was higher in OL than that in MS in SF and FF, but lower in BF. N and P were stored mainly in MS regardless of the forests. The contents of N and P increased with the increasing of soil depth from fragmented litter layer (FL) to humus layer (AL), and decreased with the increasing of soil depth from AL to parent material layer (CL) of the studied forests. In OL, the total N stock was 0.85 (± 0.11), 0.68 (± 0.06) and 0.36 (± 0.03) t/hm2 for SF, FF and BF, and total P stock was 0.29 (± 0.03), 0.22 (± 0.03), and 0.06 (± 0.02) t/hm2 for SF, FF and BF, respectively.

***Conclusions:*** The comparatively high OC and ROC in the soil organic layer indicates the impact of climate change and anthropogenic interference on soil carbon storage in western Sichuan.

**初投稿英文摘要为结构式（确保研究论文4个要素和综述论文3个要素齐全），待通过审稿后修改稿须串联成一段话（为同时方便非中文读者阅读了解、提升论文国际影响力，英文摘要须与中文摘要一致、可适当详细；字数要求不少于200、不多于500字）。**

**Keywords** soil organic layer; carbon stock; nitrogen stocks; phosphorus stock; subalpine forest

正文文字小五号（一级标题四号；二级标题五号、粗体）。图表和文献文字都用六号。

前言不编号（也不编为0）。

论文内最多分三级标题，即1、1.1和1.1.1形式。第三级标题与其后文字空4格接排。

文字叙述、图、表尽量避免重复。

**研究论文：**

“**前 言**”说明①研究背景（含此前进展及结论）、②与前人工作的关系（即**之前研究存在问题**）以及③本研究内容和目的（包括本研究设想、方法、实验设计及预期结果和意义，必须提出**科学问题**）。

“**材料与方法**”应具足够信息和重复操作性（如参考文献内容，不能大量拷贝，应简洁、必要表达后引用文献）。

“**结果与分析**”对研究结果进行**介绍、描述、说明**（**一般不能包括讨论内容**）；重要结果用原始数据，一般性结果用总结数据（如平均值、标准偏差）或转换数据（如百分数），正确进行统计分析。

“**讨 论**”将结果与自身研究目的和他人研究结果进行**比较、充分阐释和合理推断**；

“**结 论**”指出①结论性观点、②成果理论与应用前景、③研究局限以及④进一步研究方向。

**综述：**

正文在大的结构下**每一部分包括有提示、引用、分析、总结、连接**等，不能一引到底，在表述上也要有所区分；前言和结论应体现本文的价值与高度；全文要详略得当，凸显有深度有新颖性的内容。综述尤其要结合自己课题组的研究。

土壤有机层（organic layer，OL）主要由累积在矿质土壤上的各种未分解、半分解以及腐殖化的有机物质组成[1-2]，是高寒森林生态系统中极具特征的重要组成部分[3-4]，不仅在水土保持和维持土壤肥力方面具有重要的生态功能，而且被认为是高寒森林生态系统中植被与土壤之间进行物质循环和能量转换的最为活跃的生态界面（ecological interface）之一[3-7]。由于土壤有机层不仅控制着森林生态系统中的养分循环格局和有效性[8]，而且是森林生态系统中最为活跃的有机碳（organic carbon，OC）和养分的源（source）和汇（sink），因而对全球气候变化的响应可能比土壤更敏感[6, 9]。可见，了解高寒森林土壤有机层的碳、氮、磷等生物元素储量对于揭示土壤有机碳固定（carbon sequestration）机制具有重要意义。但已有的研究更强调土壤矿质层（mineral soil，MS）的碳、氮、磷储量特征，有关土壤有机层碳、氮、磷储量的研究还相当有限。

川西高寒森林是我国第二大林区（西南林区）的主体[10]，不仅在我国国民经济建设、生物多样性保育和水源涵养等方面具有举足轻重的作用，而且作为我国西部目前唯一保存良好的天然林，也是一个巨大的土壤冷冻碳库[11]。受低温和森林凋落物质量的限制，高寒森林土壤有机层的微生物活性较低，凋落物分解缓慢，同时，受低温、地形地貌和频繁地质灾害等的影响，高寒森林土壤发育缓慢甚至被中断，因此，相对于同纬度、低海拔的森林生态系统而言，高寒森林普遍存在一层较厚的土壤有机层和浅薄的土壤矿质层[15]。因而，研究川西高寒地区典型森林土壤有机层碳、氮和磷库的分布特征对深入探讨土壤碳、氮、磷循环及其对全球变化的响应具有重要意义。本文同步研究了川西亚高山云杉（*Picea purpurea* Masters）林（SF）、冷杉（*Abies faxoniana* Rehder & E. H. Wilson）林（FF）和白桦（*Betula platyphylla* Sukaczev）林（BF）生态系统土壤有机层和土壤矿质层的有机碳、全氮（total nitrogen，TN）及全磷（total phosphorus，TP）储量特征，以期为揭示全球变化对土壤碳、氮、磷循环的影响提供参考依据。

1 材料与方法

**1.1 研究区域与样地概况**

研究区域位于王朗国家级自然保护区（103°55′­­-104°10′E，32°49′-33°2′N，海拔2 300-4 980 m），地处青藏高原―四川盆地的过渡地带，属丹巴―松潘半湿润气候。受季风影响，形成干湿季节差异，干季（当年11月至次年4月）表现为日照强烈，降水少，气候寒冷，空气干燥；湿季（5-10月）的气候特征为降雨集中，多云雾，日照少，气候暖湿。年平均气温2.5-2.9 ℃ （最高气温26.2 ℃，最低气温－17.8 ℃），7月平均气温12.7 ℃，1月平均气温－6.1 ℃，年降雨量805.2 mm，主要植被为针阔混交林和针叶林。云杉林、冷杉林和白桦林是该区最为典型的3类森林生态系统[3]。为了研究川西高寒森林生态系统过程及其对气候变化的响应，我们于2001年在这3个典型森林生态系统内设置了3个面积均为600 m2（20 m × 30 m）的固定样地。有关土壤理化性质见文献[3, 12-13]。

**1.2 样品采集与处理**

根据实验目的不同，将土壤剖面分为有机层和矿质层分别采样[1-2]。土壤有机层分未分解层（LL，主要由新鲜的或轻微变色的未分解的凋落物构成）、半分解层（FL，主要由具有菌丝和细根的中度到强度的成片断的凋落物构成）和完全分解层（HL，主要由腐殖化无定形有机物质构成）采集样品，分别放入保鲜袋，迅速带回实验室进行预处理。除去凋落物中的土壤，称其鲜重，然后将样品分成两部分。一部分在70 ℃烘干至恒重，估算单位面积的地表上每一层次凋落物的贮量，然后研磨，过1 mm筛，贮存以备有机碳、易氧化有机碳（readily oxidized carbon，ROC）、全氮和全磷含量测定。另一部分样品混合，过2 mm筛，装入灭菌后的塑料袋内，贮于4 ℃的冰箱中，1个月内测定微生物数量、微生物生物量和酶活性。

在采集有机层的凋落物样品时，分别在每个样地中挖掘3个土壤剖面采集矿质土壤样品。云杉林和白桦林土层分化明显，分腐殖质层（AL）、淀积层（BL）和母质层（CL）采集，冷杉林没有明显的淀积层，分腐殖质层和母质层采集。然后将采集的每个样品分成3部分：（1）一部分样品在去掉石块、动植物残体和根系后，研磨，过2 mm筛，混匀，装入保鲜袋，贮于4 ℃冰箱中，供土壤微生物数量、微生物生物量和酶活性的测定用，实验要求在1个月之内做完。（2）一部分样品放在草纸上风干，研磨，过1 mm和0.25 mm筛，用于有机碳、易氧化有机碳、全氮和全磷及其它养分的测定。（3）一部分样品用于立即测定土壤含水量。与此同时，用环刀（直径6 cm，高10 cm）在每层土壤中央取3个原状土样，测定土壤容重。

**1.3 测定方法**

土壤容重采用环刀法[14]，有机碳含量测定采用重铬酸钾外加热法[14]，易氧化有机碳含量测定采用袁可能法[15]，全氮含量测定采用半微量凯氏定氮法[14]，全磷含量测定采用钼锑钪比色法[15]。

**1.4 计算和统计方法**

土壤有机层＝未分解层＋半分解层＋完全分解层，土壤有机层中有机碳、易氧化有机碳、全氮和全磷的储量根据对应层次的有机碳、易氧化有机碳、全氮和全磷含量乘以单位面积内有机物质储量估算得到[16]。土壤矿质层＝腐殖质层＋淀积层＋母质层，土壤矿质层中有机碳、易氧化有机碳、全氮和全磷的储量根据对应层次的有机碳、易氧化有机碳、全氮和全磷含量及土壤厚度、土壤各亚类的面积、土壤容重和石砾含量等估算得到[16]。用方差分析检验处理间的效应，用LSD法检验平均数之间的差异。

2 结果与分析

**2.1 土壤剖面上有机碳、易氧化有机碳和养分含量特征及分布**

由表1可见，整个土剖面上有机碳含量均随土壤深度的增加而降低，且土壤有机层的有机碳、易氧化有机碳含量明显高于土壤矿质层。冷杉林下的棕色冲积土中有机层的有机碳、易氧化有机碳含量高于云杉林下的暗棕壤和白桦林下的棕壤。腐殖质层的有机碳含量以冷杉林最高，其次为云杉林，白桦林最低，但云杉林和白桦林下腐殖质层的有机碳含量没有显著差异。所有林型中，易氧化有机碳/有机碳随着土壤深度的增加而降低。

**表1 不同森林群落总有机碳（TOC）与易氧化有机碳（ROC）含量特征（*N* = 5）**

**Table 1 Contents of total organic carbon (TOC) and readily oxidized carbon (ROC) in the different forest stands (*N* = 5)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 群落 Forest | 土壤剖面 Soil profile | TOC/g kg-1 | ROC/g kg-1 | ROC/TOC (*r*/%) |
| SF | LL | 354.5 ± 34.6 | 132.1 ± 23.4 | 37.3 ± 8.1 |
| FL | 276.8 ± 29.0 | 94.2 ± 22.6 | 34.0 ± 5.3 |
| HL | 226.6 ± 25.7 | 72.5 ± 14.1 | 32.0 ± 9.4 |
| AL | 148.0 ± 12.9 | 40.3 ± 10.3 | 27.2 ± 8.8 |
| BL | 36.3 ± 4.6 | 8.3 ± 1.2 | 22.9 ± 7.2 |
| CL | 9.5 ± 1.8 | 2.1 ± 0.4 | 22.1 ± 8.1 |
| FF | LL | 384.1 ± 35.0 | 168.7 ± 32.3 | 43.9 ± 6.7 |
| FL | 331.4 ± 31.3 | 126.7 ± 25.8 | 38.2 ± 6.3 |
| HL | 289.7 ± 24.8 | 108.5 ± 17.5 | 37.5 ± 8.4 |
| AL | 232.5 ± 24.6 | 78.2 ± 13.9 | 33.6 ± 4.6 |
| CL | 8.1 ± 1.5 | 1.5 ± 0.3 | 18.5 ± 3.8 |
| BF | LL | 325.5 ± 34.6 | 106.8 ± 19.6 | 32.8 ± 11.4 |
| FL | 263.7 ± 23.8 | 82.1 ± 14.3 | 31.1 ± 9.1 |
| HL | 233.0 ± 17.9 | 56.4 ± 8.8 | 24.2 ± 5.9 |
| AL | 109.9 ± 17.7 | 23.3 ± 3.6 | 21.2 ± 3.2 |
| BL | 9.5 ± 2.6 | 1.8 ± 0.4 | 18.9 ± 3.8 |
| CL | 3.7 ± 0.5 | 0.6 ± 0.2 | 16.2 ± 3.1 |

SF：云杉林；FF：冷杉林；BF：白桦林。LL：未分解层；FL：半分解层；HL：完全分解层。AL：腐殖质层；BL：淀积层；CL：母质层。

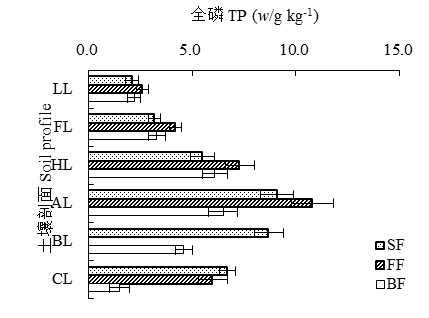
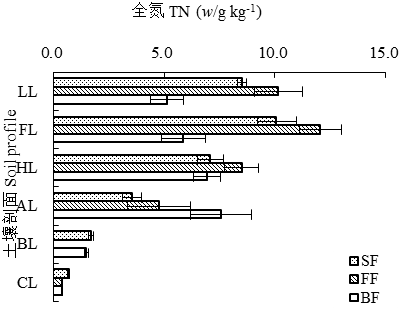
SF: *Picea purpurea* forest; FF: *Abies faxoniana* forest; BF: *Betula platyphylla* forest. LL: No decomposition layer; FL: Fragmented litter layer; HL: Completely decomposed layer. AL: Humus layer; BL: Subsurface layer; CL: Parent material layer.

**在表头中尽量采用“量名称简称/单位符号”形式**（如TN/g kg-1）**或“量符号/单位符号”标准格式来表示数值**（可直接使用，如时间可直接用*t*/h，若意思未表达完整，在之前辅以中、英文字或通用符号说明，而把“量符号/单位符号”放在半角圆括号内，接排时前括号之前有1个空格，如 处理时间 Treatment time (*t*/h)）。

量符号通常为一个字母，斜体，用多个字母缩略语作量名称则用正体，以避免误解为多个量相乘。单位符号正体。

常用的量符号有：时间*t*，温度*θ*，质量*m*，长度*l*，深度*δ*，面积*A*，体积*V*，高度*h*，百分比*P*，比率*r*，总数*N*，数量密度*n*，质量浓度*ρ*，质量分数*w*，相对分子质量*M*r，物质的量浓度*c*，体积分数*φ*，总酶活*Λ*，相对酶活*λ*，波长*λ*，光密度*D*，吸光度*A*等。

云杉林和冷杉林中，土壤剖面上全氮和全磷含量从半分解层到腐殖质层随土壤深度的增加而增加，而从腐殖质层到母质层随土壤深度的增加而降低（图1）。腐殖质层中全氮的含量以白桦林的为最高，其次为冷杉林，云杉林最低。冷杉林土壤有机层和腐殖质层的全磷含量显著高于云杉林和白桦林，但云杉林下母质层的全磷含量显著高于冷杉林和白桦林。



A

B

**图1 不同森林群落中全氮（TN，A）和全磷（TP，B）含量在土壤剖面上的分布特征。L**L：未分解层；FL：半分解层；HL：完全分解层。AL：腐殖质层；BL：淀积层；CL：母质层。SF：云杉林；FF：冷杉林；BF：白桦林。横条表示标准偏差（*N* = 5）。

**Fig. 1 Distribution characteristics of total nitrogen (TN, A) and total phosphorus (TP, B) contents in the different forest stands.** LL: No decomposition layer; FL: Fragmented litter layer; HL: Completely decomposed layer. AL: Humus layer; BL: Subsurface layer; CL: Parent material layer. SF: *Picea purpurea* forest; FF: *Abies faxoniana* forest; BF: *Betula platyphylla* forest. Bars indicate standard deviation (*N* = 5).

**图内线条、文字在高倍数下都应非常清晰（word 500倍下）。**线条图（矢量类图片，如函数图、直方图、示意图、流程图等）采用Word、Excel或相关矢量软件制作或转换，绝不能抓图置入文内；照片图高清扫描后插入，禁用屏幕拷贝和抓图；表示图中事物的实际尺寸在图右下角以1 cm之类的线段作比例尺，不采用“×倍数”形式。图内线条粗细设置在0.5磅。若采用像素化平面图片，黑白图片需达到600DPI分辩率，彩色图片300DPI分辩率。

**纵、横坐标的标目（居中）尽量采用“量名称简称/单位符号”形式**（如TN/g kg-1）**或“量符号/单位符号”标准格式来表示数值**（可直接使用，如时间可直接用*t*/h，若觉意思未表达完整，在之前辅以中、英文字或通用符号说明，而把“量符号/单位符号”放在半角圆括号内，接排时前括号之前有1个空格，如 处理时间 Treatment time (*t*/h)）。

量符号通常为一个字母，斜体，用多个字母缩略语作量名称则用正体，以避免误解为多个量相乘。单位符号正体。

常用的量符号有：时间*t*，温度*θ*，质量*m*，长度*l*，深度*δ*，面积*A*，体积*V*，高度*h*，百分比*P*，比率*r*，总数*N*，数量密度*n*，质量浓度*ρ*，质量分数*w*，相对分子质量*M*r，物质的量浓度*c*，体积分数*φ*，总酶活*Λ*，相对酶活*λ*，波长*λ*，光密度*D*，吸光度*A*等。

**2.2 土壤剖面上有机碳、易氧化有机碳和养分储量特征及分布**

由表2可以看出，土壤有机层有机碳、易氧化有机碳、全氮和全磷储量均以云杉林最大，其次为冷杉林，白桦林最小，但矿质土壤中有机碳和易氧化有机碳储量则以冷杉林下的棕色冲积土最大，云杉林下的暗棕壤次之，白桦林下的棕壤最小。全氮储量以白桦林最大，其次冷杉林，云杉林最低。全磷储量则以云杉林最大，白桦林次之，冷杉林最小。此外，在整个土壤剖面（有机层＋矿质层）上，有机碳和易氧化有机碳的储量均以云杉林最大，冷杉林次之，白桦最小。全氮的储量以白桦林最大，冷杉林次之，云杉林最小。全磷的储量则表现为白桦林最大，云杉林次之，冷杉林最小。

所有森林群落的半分解层或腐殖质层具有较高的有机碳和易氧化有机碳储量，但有机碳和易氧化有机碳储量在土壤剖面上的分布特征随着群落和土壤类型的变化而变化，有机碳和易氧化有机碳储量在云杉林土壤剖面上的分布为半分解层＞腐殖质层＞完全分解层＞淀积层＞未分解层＞母质层，冷杉林为腐殖质层＞半分解层＞未分解层＞完全分解层＞母质层，白桦林为腐殖质层＞淀积层＞半分解层＞未分解层＞完全分解层＞母质层。3个林型中，未分解层都具有最大的有机碳和易氧化有机碳储量，而腐殖质层都具有最大的全氮和全磷储量（图2）。

表2略

图2略

3 讨论与结论

**3.1 有机碳、易氧化有机碳储量特征**

土壤有机碳库是陆地碳库的重要组成部分，是地球表层系统中最大且最具有活动性的生态系统碳库之一，在陆地碳循环中具有重要作用[17]。已有的研究更加强调矿质土壤层在全球陆地碳储量中的作用和地位，而对土壤有机层的关注较少[6]。本项研究表明，云杉林、冷杉林和白桦林土壤剖面上的总有机碳（Total organic carbon，TOC）储量分别为47.22 t hm-2、42.44 t hm-2和23.55 t hm-2。这与Prichard等（2000）对美国华盛顿州奥林匹克山脉亚高山森林土壤有机碳储量的研究结果[18]相似，但远远低于相似气候条件下的北方森林土壤中有机碳的储量[19]，这在很大程度上与地形地貌决定的土壤厚度有关。川西亚高山地处横断山区，坡度较大，而且受地震、滑坡、泥石流和崩塌等山地灾害的影响较大，绝大多数土壤发育在坡积物、残积物或流石滩上，淀积层和母质层石块比例很高，发育很不完善，土体结构简单，土层浅薄，因而尽管森林土壤有机层和腐殖质层的碳含量较高，但整个土壤剖面的碳密度和储量仍然较低[12]。研究还发现，云杉林、冷杉林和白桦林土壤有机层的碳储量分别为29.38 (± 1.28) t hm-2、22.70 (± 1.20) t hm-2和8.63 (± 0.95) t hm-2，有机层和腐殖质层的碳储量分别占整个土壤剖面的92.8%、99.6%和78.7%，即总有机碳主要储存于土壤有机层和腐殖质层。这除了高山峡谷地带森林的土层较薄以外，还与高海拔地带的低温限制有关。受低温限制，土壤微生物活性较低，森林地表的有机物质分解缓慢，因而相对于同纬度的低海拔森林而言，具有较厚的土壤有机层和腐殖质层，成为森林土壤有机碳的主要储库[6]。易氧化有机碳是总有机碳的重要组成部分，但由于它的易分解性和不稳定性，其与总有机碳的比例能反映土壤有机碳库的稳定性，因而在全球碳循环中具有重要意义[20]。本项研究表明，所有森林土壤剖面上的易氧化有机碳/总有机碳的比值随着土壤深度的增加而降低，但云杉林、冷杉林和白桦林土壤有机层和腐殖质层的易氧化有机碳/总有机碳的比例分别为31.1%、36.9%和24.5%。较高的总有机碳和易氧化有机碳储存于森林土壤有机层和腐殖质层的特征意味着人为干扰导致的林地微气候的变化和全球变暖等导致的微生物活性升高可能对研究区域内的土壤碳源/汇格局产生深远影响。

**3.2 全氮和全磷的储量特征**

土壤有机层和腐殖质层作为植被与土壤之间进行物质循环和能量转换的最活跃的生态界面[6]，在森林生态系统中扮演着植物生长的源（Source）和汇（Sink）。对云杉林、冷杉林和白桦林土壤有机层和矿质土壤层的研究表明，矿质土壤中全氮和全磷的储量显著高于有机层，整个土壤剖面上大于80%的氮及98%的磷储存在矿质土壤中，而且55%、99%和86%的氮分别储存于云杉林、冷杉林和白桦林的腐殖质层中，79%、95%和53%的P分别储存于云杉林、冷杉林和白桦林的腐殖质层中。这与Finér等（2003）对芬兰东部过熟挪威云杉林的研究结果[21]一致，表明绝大多数氮库储存在土壤中，也与Rode（1999）对欧石南丛生灌丛演替系列的研究结果[22]相似，表明80%以上的植物有效养分储存于有机层‐矿质土壤系统中。这也说明了对较为敏感的有机层和腐殖质层的干扰会直接或间接导致氮、磷储量发生较大的变化。川西亚高山地区植物的细根主要分布在腐殖质层中，且主要从腐殖质层吸取营养。因此，土壤腐殖质层氮和磷储量的分布格局可能是维持亚高山林木营养与生长的重要生态学机制之一。

# 参考文献 [References]

**各类参考文献的著录格式：**

a. 专著：著者. 书名[M]. 版次(1版不著). 出版地: 出版者, 出版年(: 页码) ([引用日期]. 获取和访问路径)

b. 期刊论文：论文作者. 论文题名[J]. 刊名, 年, **卷次** (期): 论文起页码-止页码 ([引用日期]. 获取和访问路径)

c. 论文集/汇编/专著析出论文：论文作者. 题名[C/G/M]//编者. 文集名/汇编名/专著名. 出版地: 出版者, 出版年: 论文起页码-止页码 ([引用日期]. 获取和访问路径)

d. 报纸析出文献：作者. 题名[N]. 报纸名, 年-月-日 (版次) ([引用日期]. 获取和访问路径)

e. 专利文献：专利所有者. 专利题名: 专利国别, 专利号 [P]. 公告日期或公开日期 ([引用日期]. 获取和访问路径)

f. 技术标准：(起草责任者.) 标准代号 标准顺序号-发布年. 标准名称[S](. 出版地: 出版者, 出版年) ([引用日期]. 获取和访问路径)

g. 学位论文：作者. 题名[D]. 保存地: 保存者, 年份 ([引用日期]. 获取和访问路径)

h. 报告：报告人. 题名[R]. 报告地: 报告会主办单位, 年份 ([引用日期]. 获取和访问路径)

i. 电子文献：作者. 题名[文献类型/载体类型]. 出版地: 出版者, 出版年 (更新或修改日期) [引用日期]. 获取和访问路径

文献题名后用“[标识码]”标注文献类型：

文献类型标识代码——专著（M），期刊文章（J），学位论文（D），报告（R），标准（S），专利（P），论文集（C），汇编（G），报纸文章（N），数据库（DB），计算机程序（CP），电子公告（EB）。

电子文献载体和标志代码：磁带（MT），磁盘（DK），光盘（CD），联机网络（OL）。

**刊名英文缩写规则：**

(a) 单个词构成的刊名不缩写；多个词构成的刊名中单音节词和小于等于5个字母的词一般不缩写（如Food、Acta等，少数构成地名的词可缩写为首字母，如New、South分别缩写为N、S）

(b) 缩写的通常方法是截短法，即省略词尾字母（至少2个），应省略在辅音之后元音之前（如American缩写为Am，Medicine或Medical缩写为Med，但Science缩写成Sci为例外；所有-ology都缩写到-ol，Physics缩写为 Phys，Chemistry缩写为 Chem）；有时采用压缩法，即删节词中字母（如Japanese缩写为Jpn，National缩写为Natl，Country缩写为Ctry）

(c) 刊名中虚词如冠词、连词和前置词一般应省略（但若是其中的人名、地名或术语的组成部分，则不省略；必要的时候保留and为&）

(d) 一个单词若有缩写只能有一种（如International的正确缩写为Int，不缩写为Intern或Intl）；同一缩写词不用于无关的词（如Ind适用于同词根的Industry或Industrial，但不适用于Indian或Indiana等）

(e) 刊名中标点符号和发音符号均省略，复合词缩写保留连字符号

(f) 刊名中的简称、首字母组合或字母代号保留且全部采用大写字母

(g) 用逗号来分隔刊名缩写词和分辑、丛刊或副刊名缩写词（如Journal of Botany Section A缩写为J Bot, A或J Bot, Sect A）；二级刊名省略，保留分册的号码或字母

(h) 刊名中常用词和特殊单词的缩写（如Journal、Quarterly、Royal分别缩写成J、Q、R）

(i) 刊名首字母组合（一般是国际影响较大的期刊，如British Medical Journal缩写为BMJ）

1. Chapin FS III, Matson PA, Mooney HA. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 2002: 436
2. Papamichos N. Forest Soils [M]. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, 1990: 414
3. Yang WQ, Wang KY, Kellomäki S, Gong HD. Litter dynamics of three subalpine forests in western Sichuan [J]. *Pedosphere*, 2005, **15** (5): 653-659
4. 李承彪. 四川森林生态研究. 成都: 四川科技出版社, 1992 [Li CB. Ecological Study of Sichuan Forest [M]. Chengdu: Sichuan Sci-tech Publishing House, 1992]
5. 张万儒, 刘寿坡, 李昌华. 中国森林土壤研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999 [Zhang WR, Liu SP, Li CH. Study of Forest Soil in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999]
6. 冯瑞芳, 杨万勤, 张健. 森林土壤有机层生化特性及其对气候变化的响应研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2006, **12** (5): 734-739 [Feng RF, Yang WQ, Zhang J. Review about biogeochemistry characteristics of forest soil organic layer and its responses to climate changes [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2006, **12** (5): 734-739]
7. 吴钦孝, 赵鸿雁, 刘向东. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 水土保持学报, 1998, **4** (2): 23-28 [Wu QX, Zhao HY, Liu XD. Functional assessment on water-holding and soil and waterconservation of litter layer [J]. *J Soil Water Conserv*, 1998, **4** (2): 23-28]
8. Quideau SA, Chadwick OA, Benesi A, Graham RC, Anderson MA. A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition [J]. *Geoderma*, 2001, **104**: 41-60
9. Currie WS. The responsive C and N biogeochemistry of the temperature forest floor [J]. *Tree*, 1999, **14**: 316-320
10. 庞学勇, 胡泓, 乔永康, 潘开文, 刘世全, 陈庆恒, 刘庆. 川西亚高山云杉人工林与天然林养分分布和生物循环比较[J]. 应用与环境生物学报, 2002, **8** (1): 1-7 [Pang XY, Hu H, Qiao YK, Pang KW, Liu SQ, Cheng QH, Liu Q. Nutrient distribution and cycling of artificial and natural subalpine spruce forest in Western Sichuan [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2002, **8** (1): 1-7]
11. Criquet SS, Vogt TG, Petit JL. Endoglucanase and *β*-glycosidase activities in an evergreen oak litter: influence of certain biotic and abiotic factors [J]. *Soil Biol Biochem,* 2002, **32**: 1505-1513
12. 杨万勤, 王开运. 森林群落及土壤养分池的生物地球化学特征[M]//王开运. 川西亚高山森林生态系统过程研究. 成都: 四川科技出版社, 2004: 200-285 [Yang WQ, Wang KY. Biogeochemistry characteristics in the surface and soil nutrient pools of forest communities [M]//Wang KY. Processes of Subalpine Forest Ecosystems in the West of Sichuan. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology, 2004: 200-285]
13. Yang WQ, Wang KY, Kellomäki S, Zhang J. Annual and monthly variations in litter macronutrients of three subalpine forests in western China [J]. *Pedosphere*, 2006, **16** (6): 788-798
14. 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 1999: 296-338 [Lu RK. Methods of Soil Agricultural Chemistry Analysis [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999: 296-338]
15. 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究.I.土壤有机矿质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究[J]. 土壤学报, 1963, **1** (3): 286-293 [Yuan KN. Research on soil organic complexes: research on humus oxidability in soil complexes [J]. *Acta Pedol Sin*, 1963, **1** (3): 286-293]
16. 王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. 地理研究, 1999, **18** (4): 349-356 [Wang SQ, Zhou CH. Estimating soil carbon reservoir of terrestrial ecosystem in China [J]. *Geogr Res*, 1999, **18** (4): 349-356]
17. 冯瑞芳, 杨万勤, 张健. 人工林经营与全球变化减缓[J]. 生态学报, 2006, **26** (11): 3870-3878 [Feng RF, Yang WQ, Zhang J. Artificial forest management for global change mitigation [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (11): 3870-3878]
18. Prichard SJ, Peterson DL, Hammer RD. Carbon distribution in sub-alpine forests and meadows of the Olympic Mountain, Washington [J]. *Soil Sci Soc Am J*,2000, **64**: 1834-1845
19. Lal R. Global potential of soil C sequestration to mitigate the greenhouse effect [J]. *Crit Rev Plant Sci*,2003, **22**: 151-184
20. Wander MM, Traina SJ, Stinner BR, Peters SE. The effects of organic and conventional management on biologically active soil organic matter fractions [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1994, **58**: 1130-1139
21. Finér L, Mannerkoski H, Piirainen S, Starr M. Carbon and nitrogen pools in an old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting [J]. *For Ecol Manage*, 2003, **174**: 51-63
22. Rode MW. The interaction between organic layer and forest growth and forest development on former health land [J]. *For Ecol Manage*, 1999, **114**: 117-127