

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 6 期

2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例.....
..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀峰,等 (1872)
大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112081881

姜林, 耿增超, 张雯, 陈心想, 余雕, 张强, 崔乐乐, 王宏翔, 郭永利. 宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征. 生态学报, 2013, 33(6): 1982-1993.

Jiang L, Geng Z C, Zhang W, Chen X X, She D, Zhang Q, Cui L L, Wang H X, Guo Y L. Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1982-1993.

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型 土壤主要肥力特征

姜 林¹, 耿增超^{1,2,*}, 张 雯¹, 陈心想¹, 余 雕¹, 张 强¹,
崔乐乐¹, 王宏翔³, 郭永利⁴

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室

农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100; 2. 宁夏贺兰山森林生态系统定位研究站, 银川 750000;

3. 西北农林科技大学林学院 杨凌 712100; 4. 西安市长安区农业技术推广中心, 西安 710100)

摘要:采用野外调查结合室内分析的方法,对该区域典型森林类型下土壤的主要剖面肥力特征进行了研究,并对主要理化指标进行了因子分析。结果表明:受森林凋落物的累积、分解和成土母质、气候条件的影响,贺兰山、六盘山主要森林土壤的剖面肥力具有明显差异。其中,土壤孔隙度(54.50%—72.22%,剖面均值,下同)受有机质影响显著,随土层加深逐渐减小,容重(0.72—1.21 g/cm³)、比重(2.55—2.68 g/cm³)随土层加深显著增大,且六盘山各样地比重大于贺兰山。受有机质归还作用影响,有机碳(24.03—65.37 g/kg)、全 N(1.48—3.49 g/kg)、NO₃⁻-N(1.88—10.50 mg/kg)、NH₄⁺-N(5.02—11.01 mg/kg)、全 P(0.37—1.19 g/kg)、有效 P(4.82—13.38 mg/kg)、速效 K 含量(82.03—244.62 mg/kg)均随土层加深逐渐降低;全 K 含量(18.92—26.14 g/kg)随土层加深逐渐增大,且六盘山各样地全 K 含量大于贺兰山。土壤 C/N(11.74—19.88)呈现 B 层>C 层>A 层,且贺兰山各样地 C/N 大于六盘山。土壤 CEC(23.94—40.30 cmol/kg)受有机质的主导作用明显,随土层加深显著减小,pH 值(7.09—8.09)、ESP(0.59%—2.47%)及 BSP(51.24%—80.57%)均随土层加深逐渐增大,且贺兰山各样地 pH 值、ESP 大于六盘山。粘粒(5.46%—10.20%)、TDS(0.33—1.12 g/kg)及 CaCO₃(1.44—14.23 g/kg)均未出现明显积聚,且贺兰山各样地 TDS、CaCO₃ 含量大于六盘山。因子分析显示,对于该区域各样地土壤的肥力特征,可以应用有机质因子、环境因子和 NO₃⁻-N 因子进行综合描述。其中青海云杉、山杨混交林下土壤的有机质因子得分最高,贺兰山各样地环境因子得分显著大于六盘山,NO₃⁻-N 因子得分则以小叶金露梅灌丛和华北落叶松天然林最高。

关键词:贺兰山;六盘山;森林土壤;剖面;肥力特征;理化性质;因子分析

Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province

JIANG Lin¹, GENG Zengchao^{1,*}, ZHANG Wen¹, CHEN Xinxiang¹, SHE Diao¹, ZHANG Qiang¹, CUI Lele¹,
WANG Hongxiang², GUO Yongli³

1 Key Laboratory for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of China, College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100 China

2 Forest Ecosystem Research Station of Helan Mountains in Ningxia, Yinchuan 750000 China

3 College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100 China

基金项目:国家科技部科技基础性工作专项(2007FY210300)

收稿日期:2011-12-08; **修订日期:**2012-07-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gengzengchao@126.com

4 Changan Agricultural Technology Extension Center of Xi'an City, Xi'an 710100 China

Abstract: The main areas of forest in Ningxia Province lie in the Helan and Liupan mountain ranges. These forests have important ecological and economic significance. The fertility of forest soil in these areas has not been systematically studied. The objective of this study was to evaluate soil fertility under six forest types in the Su-Yukou forest zone of the Helan mountain range and in the Xi-Xia and Die-Diegou forest zones of the Liupan mountain range. The natural forest types were *Pinus tabulaeformis* × *Populus davidiana*, *Picea crassifolia* × *Populus davidiana*, *Potentilla parvifolia*, and *Larix principis-rupprechtii*. The planted forest types were *Quercus liaotungensis* and *Larix principis-rupprechtii*. Five separate profiles (replications) were sampled in an 'S' pattern for each soil type. The profiles were divided into A, B, and C horizons and then sampled, making a total of 18 soil samples. Soil physical and chemical properties were measured with conventional methods. The results were analyzed using univariate analysis of variance. Differences among forest types and soil horizons were analyzed with Duncan's test (SSR). Soil fertility characteristics were evaluated using principal component analysis.

The results indicated significant differences in soil fertility under the six forest types. These differences can probably be attributed to differences in the accumulation and decomposition of forest litter, in soil parent material, or in climatic conditions. Soil porosity ranged from 54.5 to 72.2% and decreased as soil depth increased. Soil bulk density ranged from 0.72 to 1.21 g/cm³ and particle density ranged from 2.55 to 2.68 g/cm³. Soil bulk density and particle density both increased as soil depth increased. Soil particle density in the Liupan mountains was higher than that in the Helan mountains. Soil organic C (24.03—65.37 g/kg), total N (1.48—3.49 g/kg), NO₃⁻-N (1.88—10.50 mg/kg), NH₄⁺-N (5.02—11.01 mg/kg), total P (0.37—1.19 g/kg), available P (4.82—13.38 mg/kg), and available K (82.03—244.62 mg/kg) increased as soil depth increased. Total K (18.92—26.14 g/kg) increased as soil depth increased. Total K concentrations were higher in soil from the Liupan mountains than in soil from the Helan mountains. The soil C:N ratio (11.74 to 19.88) tended to be highest in the B horizon followed by the C and A horizons. The cation exchange capacity (23.94—40.30 cmol/kg) decreased as soil depth increased. In contrast, soil pH (7.09—8.09), exchangeable sodium percentage (0.59%—2.47%) and base saturation percentage (51.24%—80.57%) increased as soil depth increased. Clay content (5.46%—10.20%), total dissolved salt, (0.33—1.12 g/kg), and CaCO₃ content (1.44—14.23 g/kg) did not change significantly with soil depth. The soil C:N ratio, pH, exchangeable sodium percentage, total dissolved salt, and CaCO₃ content of soil from the Helan mountains was higher than that of soil from the Liupan mountains. Factor analysis was used to describe soil fertility under the six forest types. Three soil fertility components (organic matter factor, environmental factor, and NO₃⁻-N factor) were derived from 14 physico-chemical soil properties. Component scores showed significant differences among the three fertility components under different forest types. The soil under the *Picea crassifolia* × *Populus davidiana* forest had the highest component score for the organic matter factor. Soils from the Helan mountain range had the highest component score for the environmental factor, and soil from the natural *Potentilla parvifolia* and *Larix principis-rupprechtii* forest had the highest component score for the NO₃⁻-N factor.

Key Words: Helan mountains; Liupan mountains; forest soil; soil profile; fertility characteristics; physicochemical property; factor analysis

宁夏是我国典型的少林省区,贺兰山、六盘山等林区是其森林资源的主要分布区^[1]。贺兰山林区位于宁夏西北边缘,是我国西部干旱风沙区典型的森林生态系统;作为银川平原的天然屏障,具有阻挡沙漠入侵、涵养水源的作用。六盘山林区位于宁夏南端,是黄土高原最重要的水源涵养林地之一,对宁南山区的气候调节和生态平衡意义重大^[2]。维持贺兰山、六盘山林区森林植被的健康与稳定对宁夏地区具有重要的环境和生态价值。

土壤肥力作为植被生长的基础,是决定森林健康和林业生产的根本因素^[3-4];肥力中的限制性因子能够

影响森林植被的分布和群落多样性^[5-6]。森林演替^[7]、营林模式^[8]、人为干扰^[9]及林火^[10]等对土壤肥力也具有明显影响。因此,对土壤肥力的研究有助于科学有效的进行森林经营,防止土壤退化。目前,针对贺兰山、六盘山林区主要森林类型下土壤肥力特征进行的研究尚较少。不同类型植被的根系在土壤中的分布具有层次性差异^[11],而土壤中物质的循环和迁移能导致剖面各层次的肥力特征不同^[12];故研究土壤不同发生层次的肥力特征有助于更加准确的反映和评价其肥力水平。

贺兰山林区广泛分布的林型为青海云杉林、山杨林和油松林,六盘山林区的典型林型为阔叶混交林及华北落叶松人工林;分布的主要森林土壤为灰褐土。本研究以贺兰山、六盘山林区典型林型下的土壤为对象,对其主要肥力特征在剖面发生层次和林型间的变异特性进行了分析,并对主要理化指标进行了降维处理,以综合的反映该区土壤肥力的差异性,为宁夏主要林区森林生态系统的研究和建设提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域包括宁夏贺兰山自然保护区(38°19′—39°22′N, 105°49′—106°41′E)所辖苏峪口林区和六盘山自然保护区(34°30′—36°30′N, 105°30′—106°30′E)所辖西峡、叠叠沟林区。其中苏峪口林区位于贺兰山中段东麓,面积 95.87 km²,海拔 1500—3000 m,属典型大陆性山地气候,年均气温-0.9℃,年均降水量 287.2—429.8 mm,且主要集中于 7—9 月。主要森林植被包括:青海云杉(*Picea crassifolia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、杜松(*Juniperus rigida*)、山杨(*Populus davidiana*)、灰榆(*Ulmus glaucescens*)、小叶金露梅(*Potentilla parvifolia*)等。西峡林区位于六盘山主脉南段东坡,属六盘山核心区,面积 95.2 km²,海拔 2040—2942 m,属暖温带大陆性季风半湿润气候,年均气温 5.18℃,年均降水量 600—820 mm,多集中于 6—8 月,年蒸发量 1214—1426 mm。主要森林植被包括:山杨、白桦(*Betula platyphylla*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、少脉槲(*Tilia paucicostata*)、华山松(*Pinus armandi*)以及华北落叶松林(*Larix principis-rupprechtii*)、油松等人工植被。叠叠沟林区位于六盘山主脉北段东坡,属六盘山外围土石山区与周边黄土区的交界地带,面积 25.4 km²,海拔 1975—2615 m,属典型的半干旱大陆性季风气候,年均气温 6.5℃,年均降水量 312—604 mm,主要集中在 6—9 月,年蒸发量 1539 mm。主要森林植被包括:华北落叶松、北京杨(*Populus beijingensis*)、山桃(*Prunus davidiana*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样品的采集与处理

在研究区域内依据典型森林植被的分布情况和土壤类型的差异设置样地 6 处,各样地概况见表 1。在每个样地内,按照 S 型布点法选择 5 个采样点,统一划分土壤剖面的发生层次(A、B、C 层)并采集等量样品,将各采样点的样品按层混合,作为分析样品。土壤样品经去杂后在室内风干、磨细并过筛(孔径:2mm、1mm、0.25mm),备用^[13]。

1.2.2 样品理化指标的测定

土壤各项理化指标的测定均采用常规方法,并作 3 次平行。其中,容重采用环刀法,比重采用密度瓶法,pH 采用电位法(水:土=2.5:1),有机碳含量采用 K₂Cr₂O₇ 氧化-外加热法,全 N 含量采用半微量凯氏法,全 P 含量采用 HClO₄+H₂SO₄ 消煮-钼锑抗比色法,有效 P 含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法,全 K 含量采用 NaOH 熔融-火焰光度法,速效 K 含量采用 1 mol/L CH₃COONH₄ 浸提-火焰光度法,水溶性盐分总量采用质量法(水:土=5:1),CaCO₃ 相当物含量采用气量法^[13]。粘粒(<0.002 mm)含量采用激光粒度仪法(以加 H₂O₂ 去除有机质的粒径≤1 mm 样品测定),NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 含量采用 1 mol/L KCl 浸提-连续流动分析仪法,阳离子交换量采用 EDTA+CH₃COONH₄ 交换-容量法^[14],交换性盐基离子(K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺)采用 NH₄Cl +C₂H₅OH 交换-原子吸收分光光度法^[15]。

土壤 C/N、孔隙度、碱化度及盐基饱和度采用如下公式计算:

$$C/N = \text{有机碳} / \text{全氮} \quad (1)$$

$$\text{孔隙度}(\%) = (1 - \text{容重} / \text{比重}) \times 100 \quad (2)$$

$$\text{碱化度}(\%) = C(\text{Na}^+) / \text{阳离子交换量} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{盐基饱和度}(\%) = C(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + 1/2\text{Ca}^{2+} + 1/2\text{Mg}^{2+}) / \text{阳离子交换量} \times 100 \quad (4)$$

表 1 样地基本概况

Table 1 The basic status of sample plots

样地编号 No.	林区 Forest zone	地理位置 Position	海拔/m Elevation	坡度 Slope / (°)	坡向 Aspect / (°)	林型 Forest type	主要林下植被 Main undergrowth	土壤类型 Soil type	剖面层次 及深度/cm Soil layer and depth
I	苏峪口	38°44.45'N 105°54.74'E	2220	25	34	油松、山杨混交林	虎榛子(<i>Ostryopsis davidiana</i>)、小叶忍冬(<i>Lonicera microphylla</i>)、大披针苔草(<i>Carex lanceolate</i>)	灰褐土	A:2—17 cm B:17—51 cm C:>51 cm
II	苏峪口	38°44.09'N 105°54.59'E	2328	32	71	青海云杉、山杨混交林	小檗(<i>Berberis amurensis</i>)、莎草(<i>Cyperacites haydenii</i>)、苔草(<i>Carex stenocarpa</i>)	淋溶灰褐土	A:3—29 cm B:29—62 cm C:>62 cm
III	苏峪口	38°46.33'N 105°53.50'E	2630	16	54	小叶金露梅灌丛	大叶龙胆(<i>Gentiana macrophylla</i>)、柴胡(<i>Bupleurum Chinense</i>)、艾蒿(<i>Artemisia giraldii</i>)、苔草	亚高山草甸土	A:0—34 cm B:34—59 cm C:>59 cm
IV	西峡	35°30.49'N 106°13.28'E	2350	33	115	华北落叶松天然林	峨眉蔷薇(<i>Rosa omeiensis</i>)、灰栒子(<i>Cotoneaster acutifolius</i>)、阿尔泰紫菀(<i>Aster altaicus</i>)、苔草	淋溶灰褐土	A:3—33 cm B:33—62 cm C:>62 cm
V	西峡	35°29.23'N 106°15.58'E	2104	35	82	辽东栎天然林	箭竹(<i>Sinarundinaria nitida</i>)、刺五加(<i>Acanthopanax senticosus</i>)、灰栒子、峨眉蔷薇、早熟禾(<i>Poa annua</i>)、唐松草(<i>Thalictrum petaloideum</i>)	淋溶灰褐土	A:4.5—29 cm B:29—61 cm C:>61 cm
VI	叠叠沟	35°58.11'N 106°08.51'E	2045	12	303	华北落叶松人工林	虎榛子、美丽绣线菊(<i>Spiraea elegans</i>)、铁杆蒿(<i>Artemisia sacrorum</i>)、龙芽草(<i>Agrimonia pilosa</i>)、早熟禾	灰褐土	A:2—36 cm B:36—64 cm C:>64 cm

1.2.3 数据处理

应用软件 Microsoft Office Excel 2003 对试验数据进行统计;采用 Dixon 检验法消除 3 次平行测定的偏离值,取其算数平均数作为测定值^[16]。应用软件 SPSS Statistics 17.0 对试验数据进行分析;采用单变量方差分析法分析样地类型和土层两个因素对土壤各项理化指标的影响效应;采用 Duncan 新复极差法比较各指标在不同样地、土层间的差异性,显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。采用双变量相关分析法计算各项理化指标两两之间的 Pearson 相关系数。

采用因子分析法对受到样地类型显著或极显著影响的理化指标进行降维处理;其中,用 KMO 和 Bartlett 的球形度检验分析指标选取的适宜性;以各指标的相关系数矩阵为基础,用主成分法提取特征值 ≥ 1 或累计方差贡献率 $\geq 85\%$ 的公因子;用方差最大正交旋转法进行因子旋转;用回归法估算不同样地各土层的公因子得分^[17]。

2 结果与分析

2.1 土壤主要物理性质的变化

比重主要决定于土壤的矿物组成和有机质、矿物质的相对含量。研究结果显示,土壤比重受土层的影响显著(表 2),并随土层的加深显著增大;各样地比重剖面均值介于 2.55—2.68 g/cm³,差异较小,但六盘山各样地比重大于贺兰山(表 4)。相关分析表明(表 3),比重与有机碳含量呈极显著负相关($r=0.66$),与粘粒、

全 K 含量呈显著、极显著正相关($r=0.52, 0.71$), 表明该区有机质含量的增加能显著降低土壤比重^[18], 而粘粒中的矿物及含 K 矿物对比重具有显著的增大作用。

孔隙度仅受样地类型的显著影响(表 2), 各样地孔隙度剖面均值以青海云杉、山杨混交林最高, 其它样地间无显著差异; 随土层加深, 孔隙度逐渐减小(表 4)。由表 3 可见, 孔隙度与有机碳含量呈极显著正相关($r=0.77$)。有机质结构疏松, 且对土壤颗粒的团聚具有促进作用, 故可显著改善土壤的孔隙状况^[19]; 而植被根系的穿插也可增大土壤孔隙度^[20]。

表 2 样地类型和土层对土壤理化指标及公因子得分的影响效应(F (显著性))

Table 2 Influence of sample plot types and soil layer on various soil physicochemical properties and component scores(F (Sig.))

项目 Item	PD	SP	BD	CP	OC	TN
样地 Sample plot	2.904(0.071)	3.430(0.046)	3.724(0.037)	1.443(0.290)	4.494(0.021)	3.618(0.040)
土层 Soil layer	10.102(0.004)	3.849(0.058)	5.536(0.024)	0.546(0.596)	16.174(0.001)	23.413(0.000)
项目	C/N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	TP	AP	TK
样地	9.822(0.001)	3.339(0.049)	2.889(0.072)	9.190(0.002)	4.339(0.023)	18.289(0.000)
土层	0.752(0.496)	3.595(0.067)	17.711(0.001)	3.089(0.090)	13.525(0.001)	2.590(0.124)
项目	AK	CEC	BSP	ESP	TDS	CaCO ₃
样地	2.816(0.077)	4.694(0.018)	9.303(0.002)	3.924(0.031)	4.610(0.019)	1.919(0.178)
土层	15.273(0.001)	10.144(0.004)	18.923(0.000)	2.700(0.115)	1.596(0.250)	1.302(0.314)
项目	pH	CS ₁	CS ₂	CS ₃		
样地	40.724(0.000)	9.122(0.002)	22.290(0.000)	9.266(0.002)		
土层	25.601(0.000)	19.288(0.000)	3.304(0.079)	7.654(0.0096)		

PD: 比重, Particle density; SP: 孔隙度, Soil porosity; BD: 容重, Bulk density; CP: 粘粒, Clay particle; OC: 有机碳, Soil carbon; TN: 全氮, Total nitrogen; TP: 全磷, Total phosphorus; AP: 有效磷, Available phosphorus; TK: 全钾, Total potassium; AK: 速效钾, Available potassium; CEC: 阳离子交换量, Cation exchange capacity; BSP: 盐基饱和度, Base saturation percentage; ESP: 碱化度, Exchangeable sodium percentage; TDS: 水溶性盐分总量, Total dissolved salinity; CS: 因子得分, Component score

表 3 土壤理化性质间的相关系数

Table 3 Correlation coefficient among various soil physicochemical property ($n=18$)

相关系数 Correlation coefficient	BD	PD	SP	CP	OC	TN	C/N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
SP	-0.99 **								
CP		0.52 *							
OC	-0.81 **	-0.66 **	0.77 **	-0.52 *					
TN	-0.73 **	-0.56 *	0.71 **		0.94 **				
NH ₄ ⁺ -N					0.55 *	0.68 **			
TP					0.47 *	0.64 **			
AP	-0.83 **	-0.61 **	0.79 **		0.79 **	0.69 **			0.52 *
TK		0.71 **		0.52 *			-0.78 **		
AK	-0.68 **		0.67 **		0.68 **	0.72 **			0.74 **
pH						-0.52 *	0.70 **		-0.53 *
TDS	-0.47 *	-0.52 *			0.52 *		0.70 **		
CaCO ₃				-0.53 *				0.46 *	
CEC	-0.82 **	-0.69 **	0.77 **	-0.53 *	0.89 **	0.80 **			
BSP	0.72 **		-0.73 **		-0.74 **	-0.83 **			-0.68 **
ESP						-0.47 *	0.63 **		-0.51 *

续表

相关系数 Correlation coefficient	TP	AP	TK	AK	pH	TDS	CEC	BSP
SP								
CP								
OC								
TN								
NH ₄ ⁺ -N								
TP								
AP								
TK								
AK		0.73 **						
pH	-0.80 **		-0.62 **					
TDS		0.65 **	-0.73 **					
CaCO ₃			-0.53 *		0.48 *	0.60 **		
CEC		0.73 **		0.51 *				
BSP	-0.78 **	-0.61 **		-0.71 **	0.72 **		-0.64 **	
ESP	-0.69 **		-0.51 *		0.76 **	0.54 *		0.58 **

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

样地类型和土层对容重均存在显著影响(表2);随土层加深,容重显著增加,各样地容重剖面均值以青海云杉、油松混交林最低,其它样地间无显著差异(表4)。容重是对土壤组成和孔隙状况的综合表征,常被应用于土壤的质量评价。相关分析表明(表3),容重与孔隙度呈极显著负相关($r=0.99$),表明孔隙度是容重的主要贡献来源。

粘粒是风化成土过程的产物,可以表征土壤的发生过程,对土壤结构和离子的吸附、交换作用也具有重要影响^[21]。粘粒含量受样地和土层的影响不显著(表2)。各土层间粘粒含量呈B层>C层>A层,但未出现明显的粘化;各样地粘粒剖面平均含量以华北落叶松、辽东栎天然林最大(表4)。

表 4 土壤主要物理性质的变化
Table 4 Change of main soil physical properties

项目 Item	PD/(g/cm ³)		SP/%		BD/(g/cm ³)		CP/%	
	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD
A	2.54B	0.07	63.87	8.38	0.92B	0.22	6.88	3.70
B	2.63A	0.07	59.12	5.14	1.08AB	0.15	8.29	2.56
C	2.67A	0.04	53.63	11.19	1.24A	0.29	6.98	1.77
I	2.59	0.07	54.50b	12.27	1.19a	0.35	7.54	2.20
II	2.58	0.15	72.22a	3.87	0.72b	0.13	5.64	3.61
III	2.55	0.05	56.07b	9.32	1.12a	0.26	5.46	3.16
IV	2.68	0.03	54.85b	8.24	1.21a	0.23	10.20	1.30
V	2.66	0.05	60.04b	3.90	1.06a	0.12	8.55	2.44
VI	2.62	0.08	55.55b	5.12	1.16a	0.10	6.91	1.46

同一列不同大、小写字母分别表示不同土层、样地类型间差异显著 $P<0.05$

2.2 土壤养分元素含量的变异

2.2.1 土壤有机碳和 N 含量的变异

植被凋落物是林下土壤有机质的最主要来源,其累积量和分解程度等决定了有机质的含量^[22]。有机碳含量受样地类型的影响显著,受土层的影响极显著(表2)。随土层加深,有机碳含量降低,且A层显著大于B、C层,呈现较强的表聚性,应是大量枯落物在土表聚积的结果;各样地有机碳剖面平均含量以青海云杉、山

杨混交林下最高,其它样地间差异不显著(表5)。土壤中绝大部分 N 素以有机态存在,故有机质对全 N 含量具有重要影响。全 N 含量也受到样地和土层的显著、极显著影响(表2),其变异规律与有机碳含量类似,二者具有极显著正相关($r=0.94$)。由表5可见,华北落叶松天然林下土壤有机碳剖面平均含量最低,但全 N 含量较高,可能是由于该处凋落物中 N 素含量较高,或土壤中微生物对 N 素的分解作用较弱。

土壤 C/N 反映了有机质的分解状况,被认为是 N 素矿化能力的标志^[23]。较低的土壤 C/N 有利于矿质态 N 的释放;通常当土壤 C/N 降至 25 以下时,有机质开始释放矿质态 N^[24]。由表2可见,样地类型对土壤 C/N 具有极显著影响。不同土层的 C/N 介于 15.00—16.28,差异较小;各样地 C/N 剖面均值介于 11.74—19.88,且贺兰山各样地显著大于六盘山(表5);表明该区土壤腐殖化程度较高,N 矿化能力较强,且以六盘山各样地最优;此外,华北落叶松天然林下 C/N 剖面均值最小,可能是由于该处位于阳坡,光照充足,土壤温度较高,微生物活动相对活跃所致。有分析指出,矿化释 N 量与同化固 N 量达到平衡的土壤 C/N 尚取决于具体土壤性质^[19],故该结论尚有待于进一步探讨。对已郁闭的森林生态系统,土壤 C/N 是有机质累积和分解作用相互平衡的结果。相关分析表明(表3),土壤 C/N 与有机碳、全 N 含量无显著相关性,与耿远波等^[25]的研究结果不同。耿增超等^[26]对祁连山中段森林土壤的研究显示,土壤 C/N 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量呈显著负相关,本研究中两者不存在显著相关性。由表3可见,该区土壤 C/N 与 pH、ESP 及 TDS 存在极显著正相关($r=0.70$ 、 0.63 、 0.70);其原因可能是过高的 pH、TDS 抑制了土壤微生物的活动,导致有机质分解速度降低而发生累积^[27]。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是土壤速效 N 的主体,其含量主要决定于 N 素的矿化、固持和移动过程^[28]。该区 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量受样地类型的影响显著, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量受土层的影响极显著(表2);由表5可见,二者总体随土层加深而降低,且 A 层 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量显著高于 B、C 层;各样地 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 剖面平均含量以小叶金露梅灌丛最高,其它样地间无显著差异, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 剖面平均含量则以华北落叶松天然林下最高。此外,除小叶金露梅灌丛外,其它样地均呈现 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 剖面平均含量远大于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (表5),其原因可能是林地相对草地缺少硝化细菌,硝化作用弱,从而造成了 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的累积^[29]。土壤 N 素矿化作用的最适 pH 值为 5 左右,而硝化作用的最适 pH 值为 7—9^[30]。相关分析表明(表3), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与 CaCO_3 含量呈显著正相关($r=0.46$),可能是由于石灰性土壤的 pH 值(7.5—8.5)较适宜(亚)硝化细菌硝化作用的进行; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量与 pH 值和 ESP 呈显著负相关($r=0.53$ 、 0.51),其原因一方面是碱性环境对微生物矿化作用的抑制,另一方面在于 pH 值较高时对氨挥发的促进作用^[19]。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量与有机碳及全 N 含量呈显著、极显著正相关($r=0.55$ 、 0.68),表明土壤有机质对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 具有保持和供应的作用^[31]。此外,土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量还会受到环境条件如温度、降水等的影响^[30]。

表5 土壤有机碳和 N 素含量的变化

Table 5 Change of soil OC and N content

项目 Item	OC/(g/kg)		TN/(g/kg)		C/N		$\text{NO}_3^-\text{-N}/(\text{mg/kg})$		$\text{NH}_4^+\text{-N}/(\text{mg/kg})$	
	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD
A	57.64A	23.29	3.78A	1.13	15.00	2.74	6.77	4.67	11.48A	4.10
B	32.55B	19.49	2.03B	0.95	16.28	4.08	5.35	5.30	5.63B	2.33
C	16.91B	9.72	1.11C	0.68	15.65	3.80	2.15	0.39	4.29B	1.39
I	26.37b	25.67	1.48c	1.42	17.56ab	0.35	4.39b	3.74	7.61	5.61
II	65.37a	32.37	3.49a	2.15	19.88a	2.82	3.33b	1.32	7.56	6.38
III	34.69b	33.91	1.97bc	1.98	17.65ab	3.02	10.50a	6.81	5.02	2.34
IV	24.03b	11.44	2.10bc	1.10	11.74c	0.95	6.23ab	4.15	11.01	5.07
V	36.26b	12.90	2.95ab	0.93	12.20c	0.54	2.20b	1.10	6.25	2.79
VI	27.47b	12.74	1.86bc	0.87	14.83bc	0.64	1.88b	0.06	5.36	1.12

2.2.2 土壤 P、K 含量的变异

P 素在土壤中主要以矿物态和有机态存在,且有机 P 的相对含量与有机质密切相关^[32]。该区土壤全 P 含量随土层加深逐渐降低(表6),且与有机碳、全 N 含量呈显著、极显著正相关($r=0.47$ 、 0.64 ,表3),表明该

区土壤有机态 P 素含量相对较高。全 P 含量受样地类型的影响极显著(表 2),各样地全 P 剖面平均含量以辽东栎天然林最高,油松、山杨混交林和小叶金露梅灌丛最低,其它样地间差异不显著(表 6)。研究结果显示,土壤全 K 含量也受样地类型的极显著影响(表 2)。由表 6 可见,六盘山各样地的全 K 含量显著大于贺兰山,表明前者含 K 矿物的含量高于后者;随土层加深,全 K 含量总体增大,可能缘于土壤表层大量分布的植被根系对 K 素的吸收较强。

土壤有效 P 和速效 K 含量均受到土壤层次的极显著影响(表 2),二者随土层加深总体降低,且 A 层显著大于 B、C 层(表 6)。有效 P 含量还受到样地类型的显著影响(表 2),各样地剖面平均含量以青海云杉、山杨混交林最大,其它样地间差异不显著(表 6)。由表 3 可见,有效 P、速效 K 含量与有机碳、全 N 含量均呈极显著正相关,表明有机质的矿化作用对 P、K 素的归还明显;此外,有机质对吸附态、固定态 P 的活化也可以提高 P 素有效性^[19]。有效 P、速效 K 含量与 CEC 呈极显著、显著正相关($r=0.73, 0.51$),表明土壤胶体对 P、K 的吸附可显著保证其有效性。该区土壤有效 P 含量与 TDS 含量呈极显著正相关($r=0.65$),可能与二者具有类似的溶质运移规律^[33]。

表 6 土壤 P、K 素含量的变异
Table 6 Change of soil P and K content

项目 Item	TP/(g/kg)		AP/(mg/kg)		TK/(g/kg)		AK/(mg/kg)	
	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD
A	0.88	0.25	11.84A	3.34	21.97	3.11	263.44A	95.12
B	0.71	0.35	5.43B	3.26	22.56	3.92	109.16B	69.62
C	0.62	0.44	5.32B	4.18	23.61	2.76	89.44B	57.26
I	0.37c	0.23	7.27b	7.41	20.62b	0.96	158.26	73.09
II	0.90ab	0.17	13.38a	2.21	20.29b	1.59	244.62	48.33
III	0.37c	0.19	7.02b	3.30	18.92b	1.02	103.62	96.71
IV	0.79b	0.18	4.82b	3.19	26.14a	0.65	182.02	174.92
V	1.19a	0.26	6.06b	5.24	25.76a	2.01	153.54	154.61
VI	0.80b	0.22	6.63b	2.53	24.56a	1.80	82.03	27.58

2.3 土壤其它化学性质的变异

本研究结果显示,CEC 受样地类型和土层的显著、极显著影响(表 2),随土层加深显著减小;各样地 CEC 剖面均值以青海云杉、山杨混交林最大,其它样地间差异不显著(表 7)。土壤 CEC 主要决定于胶体的构成^[34],粘粒和有机质作为土壤胶体的重要组分,分别是 CEC 的主要来源物和贡献因素^[35]。由表 3 可见,土壤 CEC 与有机碳含量呈极显著正相关($r=0.89$);但与粘粒含量呈显著负相关($r=0.53$),该结论与刘世全等^[36]的研究结果类似,应是由于有机质/粘粒比较大(该区土壤有机质/粘粒比平均为 1.26),导致有机质掩盖了粘粒对 CEC 的实际影响;此外,还可能与胶体复合时粘粒中某些矿物成分对 CEC 的非加和性有关^[34]。

pH、BSP 受样地类型和土层的极显著影响(表 2),二者随土层加深显著增大。各样地 pH 值剖面均值介于 7.09—8.09,属中性至碱性;且以小叶金露梅灌丛最大,贺兰山各样地的 pH 值显著大于六盘山(表 7)。各样地 BSP 剖面均值均大于 50%,且以油松、山杨混交林,小叶金露梅灌丛和华北落叶松人工林最高,其它样地间差异不显著(表 7)。相关分析表明,BSP 与有机碳含量呈极显著负相关($r=0.74$),可能缘于有机质分解产生的大量有机酸增加了非交换性酸的量^[37],从而降低了 BSP。pH 值主要决定于土壤的 BSP^[34],该区土壤 pH 值与 BSP 呈极显著正相关($r=0.72$),符合这一规律。

TDS 和 ESP 都仅受样地类型的显著影响(表 2),TDS 随土层加深而降低,ESP 则随土层加深而增加;各样地 TDS 剖面均值以青海云杉、山杨混交林和小叶金露梅灌丛最高,总体介于 0.33—1.12g/kg,未呈现明显盐化;各样地 ESP 剖面均值以小叶金露梅灌丛最大,总体介于 0.59—2.47%,亦未达到明显碱化;贺兰山各样地 TDS、ESP 剖面均值显著大于六盘山(表 7)。CaCO₃ 含量受样地类型和土层影响不显著(表 2)。由表 7 可见,

土壤表层 CaCO_3 含量略高于底层,但未出现明显的 CaCO_3 聚积;贺兰山各样地间 CaCO_3 剖面平均含量高于六盘山。相关分析表明(表3),土壤 pH 值与 CaCO_3 含量、ESP 呈显著、极显著正相关($r=0.48、0.76$),表明(重)碳酸盐类、交换性 Na^+ 的水解是该区土壤碱性的主要贡献^[19];土壤 TDS 与 CaCO_3 含量呈极显著正相关($r=0.60$),应缘于该区淋溶作用弱,导致二者呈现相似的聚积特征。

表7 土壤其它化学性质的变异

Table 7 Change of other soil chemical properties

项目 Item	CEC/(cmol/kg)		BSP/%		ESP/%		TDS/(g/kg)		CaCO_3 /(g/kg)		pH	
	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD
A	35.43A	8.14	54.07C	11.15	0.89	0.69	0.88	0.47	10.34	12.36	7.41C	0.43
B	30.27A	7.63	66.64B	13.03	1.23	0.82	0.63	0.25	4.61	3.25	7.66B	0.33
C	22.86B	5.81	78.40A	15.37	1.72	1.07	0.66	0.40	4.96	4.78	7.84A	0.39
I	24.28b	7.93	80.57a	23.30	1.53ab	0.88	0.73ab	0.32	12.69	1.95	7.96a	0.28
II	40.30a	12.56	51.24b	11.97	1.50ab	1.43	1.08a	0.29	5.90	1.31	7.71b	0.31
III	29.77b	8.97	78.30a	10.18	2.47a	0.27	1.12a	0.34	14.23	17.13	8.09a	0.08
IV	23.94b	7.16	57.88b	12.30	0.92b	0.26	0.33b	0.23	1.44	0.29	7.32c	0.23
V	27.16b	1.79	58.82b	9.00	0.59b	0.12	0.54b	0.21	2.34	0.46	7.09d	0.23
VI	31.66ab	1.57	71.41a	10.02	0.65b	0.10	0.53b	0.20	3.22	0.64	7.65b	0.17

2.4 土壤肥力指标的因子分析

对选取指标的检验显示(表8),其 KMO 统计量为 $0.605 > 0.5$,表明指标间的偏相关性较强;Bartlett 的球形度检验 Sig. 值小于 0.01,表明各指标的相关系数矩阵不是单位阵,故所选取指标可进行因子分析。

表8 KMO 和 Bartlett 检验

Table 8 KMO and Bartlett's test

项目 Item	值 Value
KMO 统计量 Kaiser-Meyer-Olkin Measure	0.605
Bartlett 的球形度检验(显著性) Bartlett's Test of Sphericity (Sig.)	0.000

由表9可见,所提取3个公因子的累计贡献率达到85.861%,对该区土壤的肥力特征具有较强的解释。在第1公因子(F_1)上具有较高因子载荷的指标有容重、孔隙度、有机碳、全N、有效P含量、CEC和BSP,上述指标均受到有机质的显著影响,故可将1公因子命名为有机质因子。在第2公因子(F_2)上具有较高因子载荷的指标为C/N、pH值、ESP、全P、全K含量和水溶性盐分总量,上述指标均的影响因素主要为温度、水分、植被、土壤微生物及成土母质等环境条件,故可将第2公因子命名为环境因子。在第3公因子(F_3)上具有较高因子载荷的指标为 NO_3^- -N 含量,故可将第3公因子命名为 NO_3^- -N 因子。

表9 旋转的因子载荷矩阵

Table 9 Rotated component matrix

项目 Item	F_1	F_2	F_3
OC	0.940	0.006	0.126
BD	-0.935	-0.086	-0.033
SP	0.914	0.044	-0.015
CEC	0.895	0.047	0.097
TN	0.881	-0.290	0.181
AP	0.877	0.226	0.056
BSP	-0.806	0.491	-0.087

续表

项目 Item	F_1	F_2	F_3
C/N	0.284	0.900	-0.067
pH	-0.322	0.893	0.003
ESP	-0.299	0.818	0.194
TK	-0.334	-0.805	-0.223
TDS	0.505	0.711	0.157
TP	0.549	-0.696	-0.199
NO_3^- -N	0.192	0.238	0.931
特征值 Eigenvalue	6.569	4.359	1.093
方差贡献率 Percent/%	46.920	31.135	7.806
累计方差贡献率 Cumulative percent/%	46.920	78.054	85.861

鉴于因子分析中公因子综合得分的应用尚存在争议^[38],故文中暂未采用。由表 10 可见,土壤的有机质因子得分总体随土层加深而减小,且差异显著,表明表层土壤的 N 素、有效 P 素含量较高,结构疏松,保肥性较好。不同样地有机质因子得分剖面均值以青海云杉、山杨混交林最高,其它样地间差异不显著。土壤的环境因子得分总体随土层加深而增大,贺兰山各样地环境因子得分剖面均值显著大于六盘山,表明前者的有机质矿化作用、淋溶作用总体较弱,含 K 矿物丰富而含 P 矿物缺乏。土壤的 NO_3^- -N 因子得分总体随土层加深而减小,不同样地 NO_3^- -N 因子得分剖面均值以小叶金露梅灌丛和华北落叶松天然林最高,其它样地间差异不显著。

表 10 各公因子得分的变化

Table 10 Change of component score

项目 Item	CS ₁		CS ₂		CS ₃	
	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD	均值 Mean	标准误 SD
A	0.81A	0.85	-0.27	0.96	0.50A	1.07
B	-0.11B	0.74	0.00	1.03	0.08A	1.13
C	-0.70C	0.86	0.27	1.12	-0.59B	0.51
I	-0.49b	1.29	0.73a	0.30	-0.16b	0.64
II	1.43a	0.85	0.73a	0.82	-0.86b	0.46
III	-0.29b	1.03	1.10a	0.26	1.31a	1.22
IV	-0.55b	0.68	-1.10c	0.48	0.77a	0.88
V	0.12b	0.63	-1.16c	0.09	-0.36b	0.28
VI	-0.22b	0.24	-0.30b	0.15	-0.70b	0.23

3 结论

(1) 土壤孔隙度受有机质的改善作用显著。随土层加深,孔隙度逐渐减小;其剖面均值介于 54.50%—72.22%。容重受孔隙度的贡献,随土层加深显著增大,其剖面均值介于 0.72—1.21 g/cm³。土壤比重在土壤矿物质、有机质的综合影响下,随土层加深显著增大,其剖面均值介于 2.55—2.68 g/cm³,且六盘山各样地土壤比重大于贺兰山。

(2) 受林下凋落物累积、分解作用的影响,有机质的表聚性明显,有机碳的剖面平均含量介于 24.03—65.37 g/kg。有机质对营养元素的返还作用明显,全 N、 NH_4^+ -N、全 P、有效 P 和速效 K 含量均随土层加深逐渐降低。其中,全 N 剖面平均含量介于 1.48—3.49 g/kg; NH_4^+ -N 含量介于 5.02—11.01 mg/kg; 全 P 含量介于 0.37—1.19 g/kg; 有效 P 含量介于 4.82—13.38 mg/kg; 速效 K 含量介于 82.03—244.62 mg/kg。 NO_3^- -N 含量受 CaCO_3 含量影响显著,并随土层加深逐渐降低,剖面平均含量介于 1.88—10.50 mg/kg。全 K 含量随土层加深逐渐增大,剖面平均含量介于 18.92—26.14 g/kg,且六盘山各样地全 K 剖面平均含量大于贺兰山。

(3) 土壤 C/N 呈现 B 层>C 层>A 层,剖面均值介于 11.74—19.88,且贺兰山各样地剖面均值大于六盘山。CEC 受有机质的主导明显,并随土层加深显著减小,其剖面均值介于 23.94—40.30 cmol/kg。该区土壤

淋溶作用总体较弱, BSP 较高, 其剖面均值介于 51.24%—80.57%, 且随土层加深显著增大; ESP 剖面均值介于 0.59%—2.47% 未达明显碱化, 并随土层加深逐渐增大; 粘粒、TDS 和 CaCO_3 含量均未发生明显的层间积聚, 其中粘粒剖面平均含量介于 5.46%—10.20%, TDS 含量介于 0.33—1.12 g/kg, 未达明显盐化, CaCO_3 含量介于 1.44—14.23 g/kg, 且贺兰山 TDS、 CaCO_3 剖面平均含量大于六盘山。土壤 pH 值受 BSP 的决定作用明显, (重)碳酸盐类、交换性 Na^+ 的水解是其碱性的主要贡献来源; 随土层加深, pH 值显著增大; 其剖面均值介于 7.09—8.09, 属中性至碱性, 且贺兰山林区土壤 pH 值大于六盘山。

(4) 对于该区不同森林类型的主要土壤肥力特征, 可以应用有机质因子、环境因子和 NO_3^- -N 因子进行综合描述。其中, 青海云杉、山杨混交林下土壤的有机质因子得分最高, 贺兰山各森林类型下土壤的环境因子得分显著大于六盘山, NO_3^- -N 因子得分则以小叶金露梅灌丛和华北落叶松天然林最高。

致谢: 宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局在野外调查及样品采集中提供了大力帮助, 谨此致谢。

References:

- [1] Tang L J. Ningxia Forest. Beijing: China Forestry Publishing House, 1990: 70-83.
- [2] Wang K. National Nature Reserves of China. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2003: 1220-1256.
- [3] Xiong Y, Li Q K. Soil in China (2nd ed). Beijing: Science Press, 1987: 714-727.
- [4] Fisher R F, Binkley D, Pritchett W L. Ecology and Management of Forest Soils (3rd ed). New York: John Wiley and Sons, 2000: 282-284.
- [5] Luo R Y. Forest Soil Science: Problems and Methods. Beijing: Science Press, 1983: 121-145.
- [6] Wang S Z, Chen G S, Bai Y P, Zhou G Y, Sun J. Interrelation between plant species diversity and soil environmental factors in bird island of Qinghai Lake. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(1): 186-188.
- [7] Meng J H, Lu Y C, Liu G, Wang Y X. Comparison study on soil chemical characteristics in tropical natural forests in different succession stages. Forest Research, 2010, 23(5): 791-795.
- [8] Wang G B, Cao F L, Cheng P, Chen L, Liu J, Li Q. Comprehensive evaluation of soil fertility of agroforestry patterns of ginkgo biloba. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(8): 1-7.
- [9] Zhang X B, Shangguan Z P. Effect of human induced disturbance on physical properties of soil in artificial pinus tabulaeformis carr. forests of the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3685-3695.
- [10] Sun L, Zhao J, Hu H Q. Effect of moderate fire disturbance on soil physical and chemical properties of betula platyphylla-larix gmelinii mixed forest. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(2): 103-110.
- [11] Peng S L, Hao Y R. The dynamics of forest root and its distribution during succession. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2005, 44(5): 65-69.
- [12] Dang K L, Zhang C L, Chen H B, Han F L, Yu Q Z. Spatial distribution and variation pattern of soil fertility at different altitude on south slope in Qinling Mountains. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(1): 16-21.
- [13] State forestry administration, P R China. Analysis Methods of Forest Soil (Forestry Industry Standards of the People's Republic of China). Beijing: Standards Press of China, 1999: 1-167.
- [14] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analytical Methods of Soil Physics and Chemistry. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1978: 173-175.
- [15] Ministry of Agriculture, P R China. NY/T 1615—2008 Determination of exchangeable bases and total exchangeable bases in calcareous soil (Agriculture industry standards of the People's Republic of China). Beijing: China Agriculture Press, 2008.
- [16] Wang Y F, Hao F. Basic Principle of Statistical Techniques. Beijing: China Metrology Publishing House, 2001: 81-81.
- [17] Zhang W T. Advanced Textbook for SPSS Statistical Analysis. Beijing: Higher Education Press, 2004: 213-234.
- [18] Wang X H, Wang Y Q, Kuznetsov M S. Study on physical properties of several main soils in Loess Plateau. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(4): 99-103.
- [19] Huang C Y. Soil Science. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 44-198.
- [20] Lin P S, Xie X X, Luo J H. Study on the soil physical properties of different forest types in Meijiang district. Journal of Anhui Agricultural Science, 2008, 36(31): 13739-13740, 13755-13755.
- [21] Dixon J B. Roles of clays in soils. Applied Clay Science, 1991, 5(5/6): 489-503.
- [22] Lin B, Liu Q, Wu Y, He H. Advances in the studies of forest litter. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(1): 60-64.
- [23] Springob G, Kirchmann H. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(4): 629-632.
- [24] Thornton S F, McManus J. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems; evidence from the Tay estuary, Scotland. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1994, 38(3): 219-233.
- [25] Geng Y B, Zhang S, Dong Y S, Meng W Q, Qi Y C, Chen Z Z, Wang Y F. The content of soil organic carbon and total nitrogen and correlation activity between their content and fluxes of CO_2 , N_2O and CH_4 in Xilin River basin steppe. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(1): 44-53.
- [26] Geng Z C, Jiang L, Li S S, She D, Hou L. Profile distribution of organic carbon and nitrogen in major soil types in the middle of Qilian Mountains. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(3): 665-672.

- [27] Song X L, Lv X G, Zhang Z S, Chen Z K, Liu Z M. Study on nutrient and salinity in soil covered with different vegetations in Shuangtaizi estuarine wetlands. *Environmental Science*, 2011, 32(9): 2632-2638.
- [28] Meng Y, Xue J Y, Sha L Q, Tang J W. Variations of soil $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and N mineralization under different forests in Xishuangbanna, Southwest China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(1): 99-104.
- [29] Griffiths R P, Entry J A, Ingham E R, Emmingham W H. Chemistry and microbial activity of forest and pasture riparian-zone soils along three Pacific Northwest streams. *Plant And Soil*, 1997, 190(1): 169-178.
- [30] Hu L, Li X Q, Huang D K, Cheng J Z. Ammonium nitrogen in surface soil of arid and semiarid Central East Asia. *Geochimica*, 2008, 37(6): 572-580.
- [31] Chen X M, Wu H S, Sun J H. Time-spatial variability of ammonium and nitrate in farmland soil of Taihu lake region. *Environmental Science*, 2006, 27(6): 1217-1222.
- [32] Sun G F, Jin J Y, Shi Y L. Research advance on soil phosphorous forms and their availability to crops in soil. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2011, (2): 1-9.
- [33] Yi L P, Ma J, Li Y. Soil salt and nutrient concentration in the rhizosphere of desert halophytes. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3565-3571.
- [34] Yu T R, Cheng Z C. Chemical Process of the Soil Formation. Beijing: Science Press, 1990: 97-175.
- [35] An Z S, Xu M G. Contribution of organic matter and clay particle on soil cation exchange capacity of three soils in Shanxi. *Soils*, 1988, 20(6): 310-313.
- [36] Liu S Q, Pu Y L, Zhang S R, Wang C Q, Deng L J. Spatial change and affecting factors of soil cation exchange capacity in Tibet. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5): 1-5.
- [37] Liu S Q, Zhang Z J, Wang C Q, Zhang S R, Deng L J. Acidity of acid soils in Tibet. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 211-218.
- [38] Wang X M. The doubts for the method of comprehensive scoring in principal component analysis. *Statistics and Decision*, 2007, (8): 31-32.

参考文献:

- [1] 唐麓君. 宁夏森林. 北京: 中国林业出版社, 1990: 70-83.
- [2] 王恺. 中国国家级自然保护区. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2003: 1220-1256.
- [3] 熊毅, 李庆逵. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1987: 714-727.
- [5] 罗汝英. 森林土壤学: 问题和方法. 北京: 科学出版社, 1983: 121-145.
- [6] 王顺忠, 陈桂琛, 柏玉平, 周国英, 孙菁. 青海湖鸟岛地区植物群落物种多样性与土壤环境因子的关系. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 186-188.
- [7] 孟辉辉, 陆元昌, 刘刚, 王懿祥. 不同演替阶段的热带天然林土壤化学性质对比. *林业科学研究*, 2010, 23(5): 791-795.
- [8] 汪贵斌, 曹福亮, 程鹏, 陈雷, 刘婧, 李群. 不同银杏复合经营模式土壤肥力综合评价. *林业科学*, 2010, 46(8): 1-7.
- [9] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响. *生态学报*, 2006, 26(11): 3685-3695.
- [10] 孙龙, 赵俊, 胡海清. 中度火干扰对白桦落叶松混交林土壤理化性质的影响. *林业科学*, 2011, 47(2): 103-110.
- [11] 彭少麟, 郝艳茹. 森林演替过程中根系分布的动态变化. *中山大学学报: 自然科学版*, 2005, 44(5): 65-69.
- [12] 党坤良, 张长录, 陈海滨, 韩福利, 于启昭. 秦岭南坡不同海拔土壤肥力的空间分异规律. *林业科学*, 2006, 42(1): 16-21.
- [13] 中华人民共和国林业局. 森林土壤分析方法(中华人民共和国林业行业标准). 北京: 中国标准出版社, 1999: 1-167.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 173-175.
- [15] 中华人民共和国农业部. NY/T 1615—2008 石灰性土壤交换性盐基及盐基总量的测定(中华人民共和国农业行业标准). 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [16] 王毓芳, 郝凤. 统计技术基本原理. 北京: 中国计量出版社, 2001: 81-81.
- [17] 张文彤. SPSS 统计分析高级教程. 北京: 高等教育出版社, 2004: 213-234.
- [18] 王夏晖, 王益权, Kuznetsov M S. 黄土高原几种主要土壤的物理性质研究. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 99-103.
- [19] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 44-198.
- [20] 林培松, 谢细香, 罗锦红. 梅江区不同森林类型土壤物理性质研究. *安徽农业科学*, 2008, 36(31): 13739-13740, 13755-13755.
- [22] 林波, 刘庆, 吴彦, 何海. 森林凋落物研究进展. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 60-64.
- [25] 耿远波, 章申, 董云社, 孟维奇, 齐玉春, 陈佐忠, 王艳芬. 草原土壤碳氮含量及其与温室气体通量的相关性. *地理学报*, 2001, 56(1): 44-53.
- [26] 耿增超, 姜林, 李珊珊, 余雕, 侯磊. 祁连山中段土壤有机碳和氮素的剖面分布. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 665-672.
- [27] 宋晓林, 吕宪国, 张仲胜, 陈志科, 刘正茂. 双台子河口湿地不同植物群落土壤营养元素及含盐量研究. *环境科学*, 2011, 32(9): 2632-2638.
- [28] 孟盈, 薛敬意, 沙丽清, 唐建维. 西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究. *植物生态学报*, 2001, 25(1): 99-104.
- [30] 胡璐, 李心清, 黄代宽, 程建中. 中国北方-蒙古干旱半干旱区土壤铵态氮的分布及其环境控制因素. *地球化学*, 2008, 37(6): 572-580.
- [31] 陈效民, 吴华山, 孙静红. 太湖地区农田土壤中铵态氮和硝态氮的时空变异. *环境科学*, 2006, 27(6): 1217-1222.
- [32] 孙桂芳, 金继运, 石元亮. 土壤磷素形态及其生物有效性研究进展. *中国土壤与肥料*, 2011, (2): 1-9.
- [33] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征. *生态学报*, 2007, 27(9): 3565-3571.
- [34] 于天仁, 陈志诚. 土壤发生中的化学过程. 北京: 科学出版社, 1990: 97-175.
- [35] 安战士, 徐明岗. 陕西三种土壤的有机质和粘粒对土壤阳离子交换量的贡献. *土壤*, 1988, 20(6): 310-313.
- [36] 刘世全, 蒲玉琳, 张世熔, 王昌全, 邓良基. 西藏土壤阳离子交换量的空间变化和影响因素研究. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 1-5.
- [37] 刘世全, 张宗锦, 王昌全, 张世熔, 邓良基. 西藏酸性土壤的酸度特征. *土壤学报*, 2005, 42(2): 211-218.
- [38] 王学民. 对主成分分析中综合得分方法的质疑. *统计与决策*, 2007, (8): 31-32.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenze, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元