

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

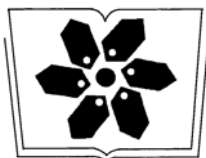
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

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 34 卷 第 6 期 2014 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)

长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)

不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

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/stxb201210241476

樊艳荣,陈双林,杨清平,李迎春,郭子武,陈珊.毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响.生态学报,2014,34(6):1471-1480.

Fan Y R, Chen S L, Yang Q P, Li Y C, Guo Z W, Chen S. The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtonema* in extensively managed *Phyllostachys edulis* plantation. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1471-1480.

毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响

樊艳荣, 陈双林*, 杨清平, 李迎春, 郭子武, 陈 珊

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 富阳 311400)

摘要:为了摸清毛竹(*Phyllostachys edulis*)林下植被群落结构对多花黄精(*Polygonatum cyrtonema*)生长的影响,给毛竹-多花黄精复合经营提供理论参考,以半阴坡下坡位粗放经营的毛竹材用纯林为对象,调查分析毛竹林下植物物种组成、外貌特征和分布格局,对影响多花黄精生长的林下植物多样性指标进行相关性分析和主成分分析。结果表明:试验毛竹林下植物有 34 种,隶属 27 科 32 属,优势种为山苍子(*Litsea cubeba*)、悬钩子(*Rubus corchorifolius*)、显子草(*Phaenosperma globosa*)、五节芒(*Miscanthus floridulu*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)和多花黄精,分布格局类型多花黄精为均匀分布,其他物种均呈强烈聚集分布,聚集强度从大到小排序为五节芒>芒萁>显子草>山苍子>悬钩子。多花黄精生长与毛竹林下植物多度、高度和多样性指数关系密切,其中,Shannon-Wiener 多样性指数和包含绝对多度多样性指数是主要的影响指标,Shannon-Wiener 多样性指数 0.2924—1.2049,包含绝对多度多样性指数 2.8439—8.8099 时多花黄精生长良好。研究表明:为使毛竹林下多花黄精良好生长,在实践生产中,9—10 月份可通过人工劈山除草来控制毛竹林下植物多度为 159—843 株/m²。

关键词:毛竹材用林;多花黄精;林下植物;物种组成;分布格局;多样性指数

The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtonema* in extensively managed *Phyllostachys edulis* plantation

FAN Yanrong, CHEN Shuanglin*, YANG Qingping, Li Yingchun, GUO Ziwu, CHEN Shan

Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Forestry Academy, Fuyang 311400, China

Abstract: In order to approach the impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtonema* and establish a theoretical basis for compound management of it in *Phyllostachys edulis* plantation, The different species composition, physical characteristics and distribution patterns of the understory plants at semi-shady lower slope in extensively managed *Phyllostachys edulis* plantation were studied. For the research both coorelation and principal analyses to examine diversity indexes of the understory plants with growth indexes of *P. cyrtonema* were employed. The results are as the following: (1) 34 species belong to 27 families and 32 genera which are recorded in the test plots of *Ph. edulis* plantation. In particularly, *Litsea cubeba*, *Rubus corchorifolius*, *Phaenosperma globosa*, *Miscanthus floridulu*, *Dicranopteris dichotoma* and *P. cyrtonema* are dominant species within understory plants. (2) The spatial distribution pattern of *P. cyrtonema* is variously distributed, whereas the others' species are distributed clumped. Meanwhile, the clump intensity of these species is illustrated as descending order: *M. floridulu* > *D. dichotoma* > *P. globosa* > *L. cubeba* > *R. corchorifolius*. (3) There is significant ($P < 0.05$) or obvious significant ($P < 0.01$) correlation among *P. cyrtonema* growth indexes with abundance, height and diversity indexes of the understory plants in *Ph. edulis* plantation. Especially, Shannon-Wiener diversity index (H) and containing absolute abundance diversity index (I) are the major impact indicators. Furthermore, *P. cyrtonema*

基金项目:国家公益性行业(林业)科研专项(201004008);浙江省中国林科院省院合作项目(2008SY10,2010SY01);浙江省农业科技成果转化项目(2012T201-02)

收稿日期:2012-10-24; 修订日期:2013-03-04

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

grows well when *H* is indicated between 0.2924—1.2049 and *I* is indicated between 2.8439—8.8099. (4) Therefore, to promote *P. cyrtanema* growing well in *Ph. edulis* plantation, the abundance of the understory plants should be controlled in-between 159 and 843 ind/m² by hilltops weeding in September and October.

Key Words: *Phyllostachys edulis* plantation; *Polygonatum cyrtanema*; understory plants; species composition; distribution pattern; diversity index

群落外貌、种类组成和结构既是群落生态环境的反映,也是植物生物学特性和生态学特征的表现,通过研究植物群落结构特征,可以为人工群落生境确定、物种选择与搭配等提供依据和参考^[1]。而空间分布格局是种群的重要结构特征,能反映个体在水平空间的配置状况或分布状态^[2],有助于理解和认识种群生物学特性、种内和种间关系以及种群与环境的关系^[3]。毛竹(*Phyllostachys edulis*)纯林群落结构比较单一,又由于毛竹属于一次开花植物,遗传育种难度大,提高单产主要依赖林分结构调控和土壤管理,集约经营毛竹林进一步提高竹材和竹笋产量的潜力空间已越来越小,而且面临着地力衰退,农村劳动力、农资成本不断上升,经济效益下滑等问题。利用植物种间生态位互补,可以实行竹林复合经营来解决地力衰退和经济效益难以进一步提高的问题。目前,已开展了一些竹林复合经营的研究与实践,主要集中在毛竹与杉木(*Cunninghamia lanceolata*)^[4-8]、马尾松(*Pinus massoniana*)^[9-10]和阔叶树^[11-12]等的混交经营。结果表明,实行竹木混交经营,可以充分利用生态位,改善土壤养分状况^[8],提高林地生产力^[3]和竹林产品质量^[4],有利于毛竹林可持续经营。而毛竹与药用植物复合经营研究则少有涉及。据调查,在贵州省赤水市山地黄壤的毛竹林中就有药用植物 106 种,竹农每年从竹林中采集大量的药用植物,获得了相当可观的经济收入^[13],说明一些药用植物与竹子互利共生,可以建成多目标培育的生态系统。也有研究表明林药间作时林木为药材植物提供蔽荫条件,以防夏季高温伤害,而林药间作经营措施有利于改良林地土壤理化性质,增加肥力^[14]。

多花黄精(*Polygonatum cyrtanema*)隶属百合科(Liliaceae)黄精属,分布于河南、江苏、安徽、浙江、江西、福建、贵州等地,是药食同源的多年生草本植物,为中国传统大宗药材,利用部分为横生、肥厚的地下

块茎,具有补气养阴、健脾、润肺、益肾等功效,是工厂化生产药品、保健品等的原料,市场需求量日渐增长。因多花黄精良好的药用和食用价值,近年来陆续开展了地下块茎化学成分提取和活性鉴定^[15-16]及形态指标观测^[17-19]等研究,而对于多花黄精林下复合栽培研究尚无涉及。多花黄精喜温暖湿润环境,稍耐寒,常生于山地林下、灌丛或山坡的半荫处,是人工粗放经营毛竹林中的常见种。根据多花黄精的药用、食用价值和市场需求及基本的适生环境条件要求,可以实行毛竹-多花黄精复合经营。

本研究以人工粗放经营的毛竹材用纯林为对象,调查毛竹林下植物物种组成和外貌特征,通过对多花黄精及主要植物种群分布格局,林下植物多样性指标与多花黄精生长指标的相关关系等研究,试图明确毛竹林下多花黄精的分布特征及与其生长密切相关的林下植物主要指标,找出毛竹林下多花黄精能够良好生长的林下植物主要指标阈值,为毛竹-多花黄精复合经营提供理论支持。

1 研究区自然概况

试验地位于浙江省江山市(118°30'20"—118°30'30"E, 28°22'10"—28°22'30"N)保安乡,处于浙闽、赣三省交界处。气候温暖湿润,四季分明,雨水充沛,年降水量 1650—2200 mm,相对湿度 85%—95%,年均气温 17.1 °C,年均日照时数 2063.3 h,年均无霜期 253 d,土壤主要为红壤。毛竹林资源丰富,面积 800 多 hm²,是江山市毛竹主要产出乡镇。但竹林经营粗放,毛竹林多为纯林,以材用林经营为主,实行季节性伐竹和留笋养竹,不使用化学除草剂,未采取过林地垦复和施肥等措施,每年的夏秋季进行人工劈山除草。

2 研究方法

2.1 试验毛竹林选择与林下植被调查

根据多花黄精生物学和生态学特征,2011 年

8—9 月选择具有代表性的半阴坡下坡位粗放经营毛竹材用纯林为研究对象。海拔 500—510 m, 坡度 30—34 度, 坡长 110 m。立竹密度 1875 ind/hm², 胸径 7.97 cm, 枝下高 3.6 m, 全高 20.3 m, 年龄结构 1 度:2 度:3 度为 3.5:2.7:1。由于每年的季节性劈山除草, 林内乔灌木种类颇丰, 但都是幼苗或萌条, 植株矮小。在毛竹林中随机设置 27 个 2 m×2 m 的林下植物调查样方, 记录样方内所有的乔木、灌木、草本和藤本植物的物种名、株数(多度)、高度和盖度等。

2.2 数据处理方法

用扩散系数(*DI*)测定毛竹林下植物格局类型, 用 *t* 值检验判断分布格局的显著性。应用负二项分布(*K*)、丛生指标(*CI*)、聚块性指标(*PAI*)、Green 指数(*GI*)和 Cassie 指标(*C_A*)^[20-22]等测定物种聚集强度, 分析毛竹林下主要植物种群空间分布格局。采用基于重要值的 α 多样性指数, 包括丰富度指数、Simpson 多样性指数(*D*)、Shannon-Wiener 多样性指数(*H*)、包含绝对多度多样性指数(*I*)、Simpson 优势度指数(*C*)和 Pielou 均匀度指数(*J*)^[23]测定毛竹林下的植物多样性。

试验数据在 Excel 2010 统计软件和 Origin 8.5 制图软件中进行整理和图表制作, 在 SPSS 17.0 统计软件中进行多花黄精生长指标与林下植物结构因子

相关性分析和主成分分析, 得出影响多花黄精生长的主要指标, 构建回归方程, 求出相关指标的阈值。

3 结果与分析

3.1 毛竹林下植物物种组成和外貌特征

由表 1 可知, 试验毛竹林下植物丰富, 有 34 种, 隶属 27 科 32 属。其中, 乔木 9 科 9 属 9 种, 重要值 0.2—7.8, 重要值 1.0 以上的种为樟科山苍子和榆科山油麻, 优势种为山苍子。枫香、盐肤木和野鸭椿重要值最小; 灌木 8 科 9 属 10 种, 重要值 0.2—5.8, 优势种为蔷薇科悬钩子。重要值 1.0 以上的种还有紫珠(2.8)和菝葜(1.8)。东方古柯、空心泡和香花崖豆藤重要值最小; 草本 7 科 11 属 11 种, 重要值 0.2—27.5。其中禾本科植物 3 科 3 属 3 种, 显子草和五节芒为优势种, 重要值显子草最高(27.5), 五节芒 10.4。蕨类植物 2 科 3 属 3 种, 芒萁为优势种, 重要值 19.6。多花黄精也是优势种, 重要值 5.9, 密度 1.70 株/m², 平均高度 0.4 m, 盖度 5.1%。楼梯草和萱草重要值最小; 藤本 3 科 3 属 4 种, 代表种为野山药, 重要值 1.3。毛竹林下草本植物发达, 高度 0.3—1.4 m, 总盖度 67.5%, 生长密集, 而乔灌木树种不明显, 均为幼苗或萌条, 植株矮小, 高度 0.2—1.3 m。

表 1 试验毛竹林下植物物种组成及特征

Table 1 Species composition and characteristics of the understory plants in *Ph. edulis* forest

种名 Species	科 Family	属 Genus	植物类型 Plant types	重要值 Important value/%	密度 Density / (株/m ²)	高度 Height/cm	盖度 Coverage /%
多花黄精 <i>Polygonatum cyrtoneura</i>	百合科	黄精属	草本	5.9	1.70	38.0	5.1
博落回 <i>Macleaya cordata</i>	罂粟科	博落回属	草本	0.8	0.06	139.5	0.5
菝葜 <i>Smilax china</i>	菝葜科	菝葜属	灌木	1.8	0.33	62.5	1.3
茶树 <i>Camellia sinensis</i>	山茶科	山茶属	灌木	0.4	0.03	61.7	0.1
东方古柯 <i>Erythroxylum sinensis</i>	古柯科	古柯属	灌木	0.2	0.01	130.0	0.1
大青 <i>Clerodendrum cwtophyllum</i>	马鞭草科	大青属	乔木	0.3	0.06	70.0	0.6
大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>	冬青科	冬青属	乔木	0.5	0.04	88.3	0.3
淡竹叶 <i>Herba Lophateri</i>	禾本科	淡竹叶	草本	3.9	5.28	63.0	4.2
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	金缕梅科	枫香树属	乔木	0.2	0.01	30.0	0.1
光叶薯蓣 <i>Dioscorea glabra</i>	薯蓣科	薯蓣属	藤本	0.9	0.06	—	0.2
华东木蓝 <i>Indigofera fortunei</i>	豆科	木蓝属	灌木	0.8	0.09	49.0	0.1
棘茎楸木 <i>Aralia echinocaulis</i>	五加科	楸木属	乔木	0.5	0.05	35.0	0.6
空心泡 <i>Rubus rosaefolius</i>	蔷薇科	悬钩子属	灌木	0.2	0.01	90.0	0.1
里白 <i>Diplopterygium glaucum</i>	里白科	里白属	草本	1.9	0.21	104.0	3.5
楼梯草 <i>Elatostema umbellatum</i>	荨麻科	楼梯草属	草本	0.2	0.02	8.0	0.1
毛花猕猴桃 <i>Actinidia eriantha</i>	猕猴桃科	猕猴桃属	藤本	0.3	0.06	—	0.4

续表

种名 Species	科 Family	属 Genus	植物类型 Plant types	重要值 Important value/%	密度 Density /(株/m ²)	高度 Height/ cm	盖度 Coverage /%
麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	壳斗科	栎 属	乔木	0.3	0.02	48.5	0.1
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	里白科	芒萁属	草本	19.6	54.13	30.0	16.1
山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	樟科	木姜子属	乔木	7.8	1.02	120.1	14.8
山油麻 <i>Helicteresangustifolia</i>	榆科	山黄麻属	乔木	1.3	0.13	89.6	0.9
五节芒 <i>Miscanthus floridulu</i>	禾本科	芒草属	草本	10.4	17.08	110.9	10.4
萱草 <i>Hemerocallis fulva</i>	百合科	萱草属	草本	0.2	0.02	70.0	0.2
悬钩子 <i>Rubus corchorifolius</i>	蔷薇科	悬钩子属	灌木	5.8	0.89	60.3	8.5
香花崖豆藤 <i>Millettia dielsiana</i>	豆科	崖豆藤属	灌木	0.2	0.01	26.0	0.1
星宿菜 <i>Lysimachia fortunei</i>	报春花科	珍珠菜属	草本	2.0	0.40	75.1	1.5
显子草 <i>Phaenosperma globosa</i>	禾本科	显子草属	草本	27.5	79.41	49.8	25.9
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	漆树科	盐肤木属	乔木	0.2	0.01	45.0	0.1
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	野牡丹科	野牡丹属	灌木	0.9	0.23	31.6	0.5
野山药 <i>Dioscorea nipponica</i>	薯蓣科	薯蓣属	藤本	1.3	0.21	—	0.2
野鸭椿 <i>Euscaphis japonica</i>	省沽油科	野鸭椿属	乔木	0.2	0.01	40.0	0.1
野苎麻 <i>Boehmeria siamensis</i>	荨麻科	苎麻属	灌木	0.3	0.03	140.0	0.4
鹰爪枫 <i>Holboellia coriacea</i>	木通科	八月瓜属	藤本	0.2	0.01	—	0.1
紫萁 <i>Osmunda japonica</i>	紫萁科	紫萁属	草本	0.5	0.08	42.0	0.1
紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i>	马鞭草科	紫珠属	灌木	2.8	0.67	80.3	3.4

“—”表示不存在该数据项

3.2 毛竹林下植物物种分布格局

由表 2 可知,试验毛竹林下多花黄精种群的扩散系数(DI)为 $0.4971 < 1(t = -1.8133 < t_{0.01})$,负二项参数(K)= $-13.5503 < 0$,聚集指数(CI)= $-0.5029 < 0$,Green 指数(GI)= $-0.0193 < 0$,聚块性指数(PAI)= $0.9262 < 1$,Cassie 指标(CA)= $-0.0738 < 0$,说明多花黄精呈均匀分布。乔木山苍子和山油麻,灌木悬钩子、紫珠和菝葜的 $DI > 1(t > t_{0.01})$, $CI > 0$ 、 $GI > 0$ 、 $PAI > 1$ 和 $CA > 0$, K 值均小于 1.7,远远低于 8,可见这些种均呈强烈聚集分布。草本中的显子草、芒萁、五节芒、淡竹叶的 $DI > 1$,根据 t 值和 CI 、 GI 、

PAI 和 CA 大小可以判定这些种均为聚集分布,而且 K 值均小于 1.2,说明这些种均呈强烈聚集分布。

综上所述,毛竹林下优势物种除多花黄精为均匀分布外,其他种群山苍子、悬钩子、显子草、芒萁和五节芒均为强烈聚集分布, K 值大小顺序为悬钩子>山苍子>显子草>芒萁>五节芒,五节芒的聚集强度最大,最小为悬钩子。从扩散系数和 K 值分析,草本中的显子草、芒萁的聚集强度相对较低,对空间的侵占程度较高,种群处于扩张阶段。试验毛竹林下聚集分布的物种占物种总数的 70.6%,也即粗放经营毛竹材用纯林下植物大部分为聚集分布。

表 2 毛竹林下植物物种分布格局

Table 2 Distribution patterns of the understory plant species in *Ph. edulis* forest

种名 Species	格局类型 Pattern types			聚集强度 Gathering strength				
	扩散系数 Dispersion index (DI)	t	格局类型	负二项分布 Negative binomial parameter (K)	聚集指数 Aggregation index (CI)	聚块性指数 Patchiness index (PAI)	Green 指数 Green index (GI)	Cassie 指标 Cassie index (CA)
多花黄精	0.4971	-1.8133	U	-13.5503	-0.5029	0.9262	-0.0193	-0.0738
博落回	1.6593	2.3773	C	0.3932	0.6593	3.5432	0.0254	2.5432
菝葜	4.5000	12.6195	C	0.3810	3.5000	3.6250	0.1346	2.6250
茶树	0.9230	-0.2774	U	-1.4439	-0.0770	0.3074	-0.0030	-0.6926
东方古柯	1.0000	0.0000	R	—	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000

续表

种名 Species	格局类型 Pattern types			聚集强度 Gathering strength				
	扩散系数 Dispersion index (DI)	t	格局类型	负二项分布 Negative binomial parameter (K)	聚集指数 Aggregation index (CI)	聚块性指数 Patchiness index (PAI)	Green 指数 Green index (GI)	Cassie 指标 Cassie index (CA)
大青	7.0000	21.6332	C	0.0432	6.0000	24.1426	0.2308	23.1426
大叶冬青	1.4038	1.4561	C	0.3668	0.4038	3.7259	0.0155	2.7259
淡竹叶	107.6368	384.4846	C	0.1980	106.6368	6.0512	4.1014	5.0512
枫香	1.0000	0.0000	R	—	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
光叶薯蓣	1.0659	0.2377	C	3.9330	0.0659	1.2543	0.0025	0.2543
华东木蓝	2.1077	3.9939	C	0.3344	1.1077	3.9908	0.0426	2.9908
棘茎楸木	3.3384	8.4311	C	0.0792	2.3384	13.6268	0.0899	12.6268
空心泡	1.0000	0.0000	R	—	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
里白	4.8495	13.8796	C	0.2213	3.8495	5.5190	0.1481	4.5190
楼梯草	2.0001	3.6060	C	0.0741	1.0001	14.5026	0.0385	13.5026
毛花猕猴桃	6.0000	18.0279	C	0.0444	5.0000	23.5004	0.1923	22.5004
麻栎	0.9617	-0.1382	U	-1.9318	-0.0383	0.4824	-0.0015	-0.5176
芒萁	206.8561	742.2248	C	1.0518	205.8561	1.9508	7.9175	0.9508
山苍子	4.2657	11.7748	C	1.2475	3.2657	1.8016	0.1256	0.8016
山油麻	2.5769	5.6856	C	0.3288	1.5769	4.0412	0.0607	3.0412
五节芒	184.1347	660.3016	C	0.3731	183.1347	3.6800	7.0436	2.6800
萱草	2.0001	3.6060	C	0.0741	1.0001	14.5026	0.0385	13.5026
悬钩子	3.1659	7.8091	C	1.6416	2.1659	1.6091	0.0833	0.6091
香花崖豆藤	1.0000	0.0000	R	—	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
星宿菜	4.3596	12.1131	C	0.4740	3.3596	3.1095	0.1292	2.1095
显子草	267.1879	959.7540	C	1.1933	266.1879	1.8380	10.2380	0.8380
盐肤木	1.0000	0.0000	R	—	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
野牡丹	6.1415	18.5380	C	0.1801	5.1415	6.5528	0.1978	5.5528
野山药	2.6823	6.0655	C	0.5064	1.6823	2.9749	0.0647	1.9749
野鸭椿	1.0000	0.0000	R	—	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
野苎麻	1.0000	0.0000	R	—	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
鹰爪枫	3.0000	7.2111	C	0.0556	2.0000	19.0002	0.0769	18.0002
紫萁	2.7693	6.3792	C	0.1884	1.7693	6.3079	0.0680	5.3079
紫珠	12.4038	41.1171	C	0.2338	11.4038	5.2764	0.4386	4.2764

C 为聚集分布;R 为随机分布;U 为均匀分布; $t(0.05, 26) = 2.056, t(0.01, 26) = 2.779$

3.3 毛竹林下植物主要结构因子及其与多花黄精生长指标的相关性

由表 3 可知,样方中植物绝对多度 229—1229 株/ m^2 ;盖度 80%—100%,个别样方低于 80%;高度 50—110 cm,个别样方低于 50 cm;丰富度 6—13, Simpson 多样性指数 0.1051—0.6811, Shannon-Wiener 多样性指数 0.2924—1.3306, 包含绝对多度多样性指数 2.8439—12.9055, Simpson 优势度指数 0.3200—0.8950, Pielou 均匀度指数 0.1503—0.5706。多花黄精株高与毛竹林下植物高度、Simpson 优势度

呈显著正相关,与包含绝对多度多样性指数呈显著负相关,与 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均呈极显著负相关。多花黄精地径、种群密度与毛竹林下植物多度呈显著正相关,种群密度与 Simpson 优势度指数呈极显著正相关,与 Simpson 多样性指数、包含绝对多度多样性指数呈显著负相关,与 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数呈极显著负相关(表 4)。说明多花黄精的生长与毛竹林下植物绝对多度、高度和多样性指数有着密切的关系。

表 3 毛竹林下植物主要结构因子

Table 3 Structure factors of the understory plants in *Ph. edulis* forest

样方 Plot	多度 Abundance (株/m ²)	盖度 Coverage /%	高度 Height /cm	丰富度 Richness	Simpson 多样性指数 Diversity index <i>D</i>	Shannon- Wiener 多样性指数 Diversity index <i>H</i>	包含绝对多度 多样性指数 Diversity index <i>I</i>	Simpson 优势度指数 dominance index <i>C</i>	Pielou 均匀 度指数 Evenness index <i>J</i>
1	1156	100.0	89.5	7	0.1051	0.2924	2.8439	0.8950	0.1503
2	607	87.0	71.8	9	0.2343	0.5708	5.3234	0.7660	0.2598
3	383	35.0	56.0	11	0.3642	0.8355	6.9531	0.6366	0.3484
4	680	86.1	80.1	10	0.1712	0.4714	4.2962	0.8291	0.2047
5	1143	48.4	86.4	9	0.4568	0.7482	7.3400	0.5437	0.3405
6	1341	100.0	99.0	11	0.1648	0.4124	4.0612	0.8354	0.1720
7	1416	100.0	61.4	9	0.1402	0.3366	3.3385	0.8600	0.1532
8	509	100.0	109.0	12	0.3134	0.7870	7.0760	0.6872	0.3167
9	1072	100.0	101.6	9	0.1633	0.4048	3.8550	0.8369	0.1842
10	1139	100.0	76.2	8	0.5594	1.0171	9.9600	0.4412	0.4891
11	793	85.5	49.7	7	0.1506	0.3926	3.5670	0.8497	0.2018
12	1066	66.4	40.5	10	0.5823	1.0388	10.1436	0.4184	0.4511
13	819	100.0	53.0	7	0.5368	1.0047	9.5544	0.4640	0.5163
14	360	85.2	49.6	10	0.3704	0.9277	7.6514	0.6309	0.4029
15	446	100.0	84.9	9	0.4876	0.9442	8.3102	0.5135	0.4297
16	1229	100.0	83.5	8	0.2922	0.6205	5.7966	0.7083	0.2984
17	229	84.1	80.0	8	0.5438	0.9810	8.5114	0.4576	0.4718
18	440	100.0	59.0	10	0.6811	1.3262	12.1481	0.3200	0.5760
19	727	100.0	94.4	7	0.5332	0.9772	9.2891	0.4676	0.5022
20	634	60.0	62.8	6	0.2585	0.5043	4.6941	0.7419	0.2815
21	644	61.0	62.7	8	0.2800	0.6675	5.4401	0.7209	0.3210
22	1157	100.0	78.8	6	0.2374	0.5007	4.8349	0.7629	0.2794
23	1038	67.0	62.8	7	0.5893	1.0726	10.1937	0.4115	0.5512
24	682	93.0	68.2	7	0.5282	1.1032	10.3856	0.4726	0.5670
25	572	84.1	71.2	9	0.3600	0.7567	6.9317	0.6406	0.3444
26	831	100.0	75.3	13	0.6523	1.3306	12.9055	0.3485	0.5188
27	475	82.5	65.7	8	0.2153	0.5390	4.7927	0.7851	0.2592

表 4 毛竹林下植物主要结构因子与多花黄精生长指标的相关关系

Table 4 Correlation between main structure factors of the understory plants and growth indexes of *P. cyrtoneura* in *Ph. edulis* forest

生长指标 Growth index	多度 Abundance	盖度 Coverage	高度 Height	丰富度 Richness	Simpson 多样性指数 Diversity index <i>D</i>	Shannon- Wiener 多样性指数 Diversity index <i>H</i>	包含绝对多度 多样性指数 Diversity index <i>I</i>	Simpson 优势度指数 dominance index <i>C</i>	Pielou 均匀度指数 Evenness index <i>J</i>
株高 Plant height	0.377	0.298	0.483 *	0.182	-0.499 **	-0.500 **	-0.467 *	0.471 *	-0.555 **
地径 Ground diameter	0.480 *	0.213	0.132	0.139	-0.262	-0.275	-0.231	0.307	-0.325
密度 Density	0.410 *	0.145	0.152	0.098	-0.480 *	-0.492 **	-0.472 *	0.494 **	-0.526 **

* 表示差异显著 ($P<0.05$), ** 表示差异极显著 ($P<0.01$)

3.4 影响多花黄精生长的毛竹林下植物主要结构因子主成分分析
对影响多花黄精生长的毛竹林下植物主要结构

因子进行主成分分析,得到主成分的特征值和贡献率(表 5)。其中,前 3 个主成分包含了林下植物主要结构因子的绝大部分信息,因此提取前 3 个主成

分作为描述影响多花黄精生长的毛竹林下植物主要结构因子的综合指标。

根据特征值可求出各主成分的特征向量,进而求出主成分方程。前 3 个公因子方程为:

$$\begin{aligned}y_1 &= -0.423x_1 + 0.028x_2 - 0.275x_3 + 0.189x_4 + 0.970x_5 + \\ &\quad 0.986x_6 + 0.976x_7 - 0.809x_8 + 0.969x_9 \\ y_2 &= 0.247x_1 + 0.854x_2 + 0.800x_3 + 0.507x_4 + 0.060x_5 + \\ &\quad 0.097x_6 + 0.138x_7 + 0.088x_8 - 0.012x_9 \\ y_3 &= -0.687x_1 + 0.295x_2 - 0.128x_3 - 0.659x_4 + 0.137x_5 - \\ &\quad 0.009x_6 + 0.082x_7 - 0.017x_8 + 0.158x_9\end{aligned}$$

式中, y 代表公因子, x_1 — x_9 依次代表绝对多度、盖度、高度、丰富度、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、包含绝对多度多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数。

第 1 公因子代表了 52% 以上的信息,在全部变量中处于最重要的地位。其中,Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、包含绝对多度多样

性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数等指标的特征向量系数较大,因此可以将第 1 公因子看作是表征影响多花黄精生长的综合指标。第一公因子中 Shannon-Wiener 多样性指数和包含绝对多度多样性指数特征向量系数最大,分别为 0.986 和 0.976。Shannon-Wiener 多样性指数综合反映了丰富度和均匀度,而绝对多度能够更全面地反映生物多样性的现状^[21]。因此,将 Shannon-Wiener 多样性指数和包含绝对多度多样性指数作为影响多花黄精生长的主要指标。

第 2 公因子代表了全部构件因子近 20% 的信息。其中,盖度、高度的特征向量系数较大,因此可将第 2 公因子看作表征样方内物种高度和覆盖程度。第 3 公因子代表了全部构件因子近 12% 的信息。其中,绝对多度、丰富度的特征向量系数较大,因此可将第 3 公因子看作表征样方内物种种类及数量。

表 5 各公因子特征值和方差贡献率

Table 5 Principal Components' eigenvalue and variance contribution

公因子 Principal Components	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution / %	累计贡献率 Cumulative contribution / %
1	4.752	52.795	52.795
2	1.728	19.199	71.994
3	1.061	11.788	83.782

3.5 影响多花黄精生长的毛竹林下植物主要结构因子阈值分析

通过拟合多花黄精生长指标株高、密度与毛竹林下植物 Shannon-Wiener 多样性指数和包含绝对多度多样性指数之间的关系(图 1),得到各回归方程和 $y_{1/2\text{极大值}} < y < y_{\text{极大值}}$ 时的 x 阈值(表 6)。综合回归方

程的多样性指数阈值范围,根据实际可知当 Shannon-Wiener 多样性指数 0.2924—1.2049,包含绝对多度多样性指数 2.8439—8.8099,即物种多度阈值 159—843 ind/m² 时多花黄精生长指标株高、密度数值为理想范围。

表 6 多花黄精生长指标与毛竹林下植物多样性指标回归方程

Table 6 Regression equation between diversity indexes of the understory plants and growth indexes of *P. cyrtoneura* in *Ph. edulis* forest

多样性指数 Diversity index	生长指标 Growth index	回归方程 Regression equation	$y_{1/2\text{极大值}} < y < y_{\text{极大值}}$ 时 x 阈值
Shannon-Wiener 多样性指数	株高	$y = -10.5240x^2 - 0.8957x + 44.7350$	$-1.5007 < x < 1.4156$
Diversity index H	密度	$y = -1.7989x^2 + 1.6717x + 1.8529$	$-0.3245 < x < 1.2049$
包含绝对多度多样性指数	株高	$y = -0.0453x^2 - 0.9786x + 46.6580$	$-34.7455 < x < 13.1429$
Diversity index I	密度	$y = -0.0218x^2 + 0.1940x + 1.8138$	$-2.7092 < x < 8.8099$

4 结论与讨论

试验地粗放经营毛竹材用纯林林下植物组成有

乔木、灌木、草本和藤本植物,物种数 34 种,隶属 27 科 32 属。由于每年的季节性劈山除草,林内乔木、灌木种类虽然数量不少,但都是幼苗或萌条,高度并

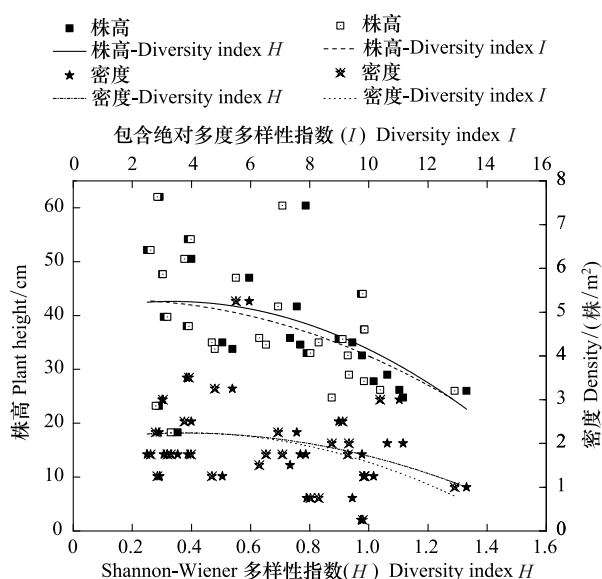


图1 多花黄精株高、密度与毛竹林下植物 Shannon-Wiener 多样性指数和包含绝对多度多样性指数的线性拟合

Fig. 1 Linear regression of plant height, density of *P. cyrtoneura* with diversity index *H*, *I* of the understory plants in *Ph. edulis* forest

不高。优势种乔木为山苍子,灌木为悬钩子,草本为显子草、芒萁、五节芒和多花黄精,其中显子草重要值最大,盖度最高,其次为芒萁和五节芒,三者重要值、盖度之和分别达 57.5、52.4%,说明试验毛竹林下植物群落主要被多年生草本显子草、五节芒和芒萁占据。

种群分布格局一方面决定于物种的生态学特性和种间竞争等生态过程,另一方面与群落环境密切相关,如养分和水分资源空间分布的斑块性等^[24]。采用扩散系数、负二项分布、丛生指标等 6 种格局指标分析表明,除多花黄精呈均匀分布外,试验毛竹林下其他优势种山苍子、悬钩子、显子草、芒萁和五节芒均呈强烈聚集分布,聚集强度大小顺序为五节芒>芒萁>显子草>山苍子>悬钩子。较高的聚集程度表明种群处在侵入扩散阶段,而当种群定居成功并不断繁殖使种群增长,完成对大部分空间的侵占以后,种群的聚集程度就会下降^[25]。可见,试验毛竹林下植物显子草、芒萁对空间的侵占程度较高,能长期保持种群稳定,而五节芒处于种群的侵占和扩散阶段。

试验毛竹林下植物大部分为聚集分布,与聚集分布是绝大多数植物自然种群的稳定分布格局^[20]的结论一致,分析认为由于种群分布的偶然性、空间

距离等因素,使得某一种群在某一空间范围内的侵入定居过程是非均匀、非同步和点状或斑块状的,造成了种群分布的空间异质性,这是种群聚集分布形成的原因之一^[26]。而且试验毛竹林属陡坡地,由于地表径流及重力作用,加剧了土壤、水分的空间分异^[25],进一步诱导了群落生态过程的空间非同步性,促进了种群聚集分布的形成及种间共存^[27],从而允许群落容纳更多的物种,增加物种丰富度和多样性。同时聚集分布加剧了种内竞争强度而减弱了种间竞争强度,种内竞争的加强有利于维持种群的健康和对物理环境的适应,使种群在种间竞争中更易成功^[28]。试验毛竹林下植物分布格局为聚集分布的种相对于均匀分布的多花黄精更容易维持种群的存活,有着更强的竞争优势,说明要达到多花黄精良好生长的目的,需要对毛竹林下植物进行适度的人工干扰。

试验毛竹林下植物多样性指数越高,群落均匀度指数越高,而生态优势度越低,这与物种多样性指数与物种均匀度呈正相关,与生态优势度呈负相关^[29]的研究结论一致。各样方中物种多度和多样性指数存在一定的差异,生境差异是引起群落植物多样性不同的主要原因之一^[30]。对影响多花黄精生长的毛竹林下植物多样性指标进行相关性分析和主成分分析表明多花黄精的生长与植物多度、高度和多样性指数关系密切,其中 Shannon-Wiener 多样性指数和包含绝对多度多样性指数可作为影响多花黄精种群竞争力的主要指标。通过构建与多花黄精生长指标株高、密度的回归方程,可知当毛竹林下植物物种 Shannon-Wiener 多样性指数 0.2924—1.2049,包含绝对多度多样性指数 2.8439—8.8099,即毛竹林下的植物数量(多度)为 159—843 株/m²时,多花黄精的生长指标株高、密度最为理想。由于毛竹林下显子草、五节芒和芒萁等优势种对空间侵占程度高,密集丛生,因此为使多花黄精生长良好,在实践生产中,需通过人工干扰措施来控制毛竹林下植物的多度阈值。从多花黄精药食同源器官地下块茎的质量安全出发,毛竹林下植物控制应禁止使用化学除草剂,而应采用季节性人工劈山除草方法,并根据多花黄精地上部分生长期为 3—9 月份的特点,为不影响多花黄精生长,9—10 月份实施人工劈山除草。

当然,毛竹-多花黄精复合经营应同时考虑多花

黄精、毛竹的生长状况和经济产出。本文研究了林下植被结构对多花黄精生长的影响,而未考虑对毛竹生长的影响,因此需进一步开展毛竹材用林(毛竹笋用林、笋材两用林经营强度较高,不适合与多花黄精复合经营)丰产林分结构条件下的毛竹-多花黄精复合经营林下植被结构的优化试验研究。而且不仅仅表现在植物多样性指标上,还需深入研究毛竹林下植被物种组成、分布格局和个体特性等对多花黄精种群生长的影响。

References:

- [1] Kang Y X, Kang B W, Liu J J, Li W H. Structure and species diversity of *Xanthocera sorbifolia* community in the loess Plateau of North Shaanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (16): 4328-4339.
- [2] Dale M T T. Spatial pattern analysis in plant ecology. London: Cambridge university press, 1999
- [3] Watt A S. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*, 1947, 35: 1-22
- [4] Zheng Y S, Wang S F. Study on bamboo underground structure of mixed forest of Chinese fir and bamboo. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(6): 69-72.
- [5] Zheng Y S, Chen L G, Hong W. Study on productivity and soil properties of mixed forests of Chinese fir and *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 3(sup): 16-24.
- [6] He D J, Hong W, Wu C Z. Fractal features of soil aggregate structure under mixed plantations of *Phyllostachys edulis* and *Cunninghamia lanceolata*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2002, 10(3): 215-221.
- [7] Wu B L, Chen S L, Yu M Z, Zhang D M, Zheng L X. Comparison study on timber quality of pure bamboo forest and mixed forest. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2007, 27 (4): 47-50.
- [8] You X H. A study on the effect of soil aggregate on organic matter in mixed forests of Chinese fir and *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26 (4): 536-539.
- [9] Ye Y E. Phytocoenological features of the *Phyllostachys pubescens*-*Pinus massoniana*-*Cunninghamia lanceolata* community. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2003, 25(4): 594-598.
- [10] Wang S J. Artificial mixed-benefit analysis of the *Phyllostachys pubescens* and *Pinus massoniana*. *China Forestry Science and Technology*, 2003, 17(sup): 25-26.
- [11] Cao Y H, Xiao J H, Chen S L, Wu M, Wu B L. The effect of soil nutrient around broad-leaved trees on *Phyllostachys edulis* growth in the mixed forest. *Journal of Nanjing Forestry University (Nat. Sci. Ed.)*, 2007, 31(6): 43-47.
- [12] Lin Z Q. Studies on bamboo productivity and advantage of mixed forest of bamboo with broad-leaved tree. *Journal of Bamboo Research*, 2000, 19(4): 42-45.
- [13] Xiong W Y, Jiang Z L, Huang B L, Zhu Z H. China agroforestry research and practice. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1994, 299-300.
- [14] Luo C B, Fang S Z, Sun Q X, Tang L Z, Tian Y. Analysis of allelopathic effects in poplar-Juemingzi agroforestry system. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2009, 33(2): 9-12.
- [15] Bi Y W, Y Y H, Gong J H, Chen B F, Liu Z B. Polysaccharide and diosgenin determination of *Polygonatum sibiricum* and *Polygonatum cyrtoneura*. *Journal of Changchun University of Traditional Chinese Medicine*, 2010, 26(5): 649-650.
- [16] Yu H, Zhang X P, Deng M Q, Ye H C, Jiang J H. Study on constituents and biological activity of volatile oil from tubers of *Polygonatum cyrtoneura* Hua. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2008, 14(5): 4-6.
- [17] Xu H M, Zhao D L. Effect of plant growth regulators on several characteristics during in vitro bud regeneration of *Polygonatum cyrtoneura*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2003, 34(9): 855-858.
- [18] Li J H, Zhou S B, Wang Y, Tie C C. Leaf comparative anatomy of *Polygonatum cyrtoneura* from five populations. *Guihaia*, 2007, 27 (6): 826-831.
- [19] Zhou S B, Li J H, Luo Q, Wang Y. Leaf epidermis development of *Polygonatum cyrtoneura*. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2006, 26 (3): 551-557.
- [20] Zhang J T. Quantitative Vegetation Ecology, method. Beijing: China Science and Technology Press, 1995, 259-266.
- [21] Lloyd M. 1967. Mean crowding. *J. Animal Ecology*, 36: 1—30.
- [22] Hedrick P W. Population biology. New York: Jones and Barlett Publishers Inc, 1984: 85- 106.
- [23] Ma K P. Measurement of biodiversity//Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences eds. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press, 1994: 141—165.
- [24] Peet R K. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1974, 5: 285-307
- [25] Zang J Y, Zhao H L. Spatial patterns of main species of the grassland community in the recovering succession in Horqin sandy land. *Chinese Journal of Ecology* 2004, 23(2): 1-6
- [26] Shangguan T L, Zhang F. Research on the pattern and associations between dominants of the vegetation in Mian Mountain, Shanxi Province. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1998, 6 (4): 357-364.
- [27] Zhao H L, Zhang T H, Chang X L, Zhou R L. Study on change laws of plant diversity and niche under Grazing in Horqin Sandy

- Pasture, Inner Mongolia. *Journal of Desert Research*, 1999, 19 (Z1): 35-39.
- [28] Zhang D Y, Jiang X H, Lei G C. Theoretical ecology research Beijing: Higher Education Press and Springer-Verlag, 2000, 170-172.
- [29] Magurran A E. *Ecological Diversity and its Measurement* [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1998.
- [30] Ma K P, Liu C R, Yu S L, Wang W. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China III. Species-abundance relation of several types of forest communities. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(6): 573-583.
- 参考文献:**
- [1] 康永祥, 康博文, 刘建军, 李文华. 陕北黄土高原文冠果群落结构及物种多样性. *生态学报*, 2010, 30(16): 4328-4339.
- [4] 郑郁善, 王舒凤. 杉木毛竹混交林的毛竹地下鞭根结构特征研究. *林业科学*, 2000, 36(6): 69-72.
- [5] 郑郁善, 陈礼光, 洪伟. 毛竹杉木混交林生产力和土壤性状研究. *林业科学*, 1998, 3(增刊): 16-24.
- [6] 何东进, 洪伟, 吴承祯. 毛竹杉木混交林土壤团粒结构的分形特征研究. *热带亚热带植物学报*, 2002, 10(3): 215-221.
- [7] 吴柏林, 陈双林, 虞敏之, 张德明, 郑连喜. 毛竹纯林与竹杉混交林竹材形态质量的比较研究. *浙江林业科技*, 2007, 27(4): 47-50.
- [8] 游秀花. 杉木毛竹混交林土壤团聚体对有机质含量的影响分析. *江西农业大学学报*, 2004, 26(4): 536-539.
- [9] 叶永恩. 毛竹-马尾松-杉木混交林群落学特征研究. *江西农业大学学报*, 2003, 25(4): 594-598.
- [10] 王守吉. 人工促进马尾松毛竹混交林混交效益分析. *林业科技开发*, 2003, 17(增刊): 25-26.
- [11] 曹永慧, 萧江华, 陈双林, 吴明, 吴柏林. 竹阔混交林阔叶树下土壤养分对毛竹生长的影响. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2007, 31(6): 43-47.
- [12] 林振清. 竹阔混交林毛竹生产力与经营效益的研究. *竹子研究汇刊*, 2000, 19(4): 42-45.
- [13] 熊文愈, 姜志林, 黄宝龙, 竺肇华. 中国农林复合经营研究与实践[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1994.
- [14] 罗诚彬, 方升佐, 孙启祥, 唐罗忠, 田野. 杨树草决明复合经营中他感作用的分析. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2009, 33(2): 9-12.
- [15] 毕研文, 杨永恒, 宫俊华, 陈宝芳, 刘政波. 黄精和多花黄精中多糖及薯蓣皂苷元的含量测定. *长春中医药大学学报*, 2010, 26(5): 649-650.
- [16] 余红, 张小平, 邓明强, 叶红翠, 蒋继宏. 多花黄精挥发油 GC2MS 分析及其生物活性研究. *中国实验方剂学杂志*, 2008, 14(5): 4-6.
- [17] 徐红梅, 赵东利. 植物生长调节剂对多花黄精芽体外发生过程中性状的影响. *中草药*, 2003, 34(9): 855-858.
- [18] 李金花, 周守标, 王影, 田长城. 多花黄精 5 个居群叶片的比较解剖学研究. *广西植物*, 2007, 27(6): 826-831.
- [19] 周守标, 李金花, 罗琦, 王影. 多花黄精叶表皮的发育. *西北植物学报*, 2006, 26(3): 551-557.
- [20] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 259-266.
- [23] 马克平. 生物群落多样性的测度方法. 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究的原理和方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
- [25] 张继义, 赵哈林. 科尔沁沙地草地植被恢复演替进程中群落优势种群空间分布格局研究. *生态学杂志*, 2004, 23(2): 1-6.
- [26] 上官铁梁, 张峰. 山西绵山植被优势种群的分布格局与种间联结的研究. *武汉植物学研究*, 1998, 6(4): 357-364.
- [27] 赵哈林, 张铜会, 常学礼, 周瑞莲. 科尔沁沙质放牧草地植物多样性及生态位的分异规律研究. *中国沙漠*, 1999, 19(增刊1): 35-39.
- [28] 张大勇, 姜新华, 雷光春. 理论生态学研究. 北京: 高等教育出版社, 施普林格出版社, 2000: 170-172.
- [30] 马克平, 刘灿然, 于顺利, 王巍. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 III. 几种类型森林群落的种-多度关系研究. *生态学报*, 1997, 17(6): 573-583.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifen, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Appling SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《生态学报》2014 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,探索生态学奥秘,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,280 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

本期责任副主编 薛建辉

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 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

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