

文章编号:1001—7380(2021)01—0021—05

不同树种配置模式对碳汇造林 初期土壤碳变化的影响

朱晓武,吴悦宏,纪燕玲*,肖泽鑫,柳泽鑫

(汕头市林业科学研究所,广东 汕头 515041)

摘要:为研究不同树种模式碳汇造林对土壤碳的影响,该试验将立地条件基本一致的6个区组作为研究区,设计5个模式(各树种数量分数,模式1:台湾相思40%、木荷40%、马占相思10%、樟树10%;模式2:华润楠25%、红锥25%、樟树20%、米老排10%、木麻黄10%、水翁10%;模式3:马占相思30%、华润楠25%、山杜英25%、木麻黄10%、台湾相思5%、樟树5%;模式4:火力楠30%、秋枫20%、马占相思20%、台湾相思10%、米老排10%、木麻黄10%;模式5:台湾相思20%、木荷20%、樟树20%、木麻黄20%、火力楠15%、水翁5%),将12个树种随机种植在5个区组,另保留其植被原始状态的1个区组作为对照。4a后对各指标进行测定,结果显示:在0—20 cm土壤层,5个模式与对照之间的碳含量差异显著($P < 0.05$);20—60 cm土壤层,模式2,3,4,5与对照之间的碳含量差异显著($P < 0.05$),模式1与对照碳含量之间无明显差异。土壤碳储量大小顺序为:模式2 > 模式4 > 模式3 > 模式5 > 模式1 > 对照,5个模式土壤碳储量显著高于对照,模式2,3,4,5显著高于模式1,模式2,3,4,5之间差异不明显,模式2,4的土壤碳储量分别为 (106.14 ± 22.39) 、 (104.72 ± 28.63) Mg C/hm²。说明这2种模式土壤碳积累表现较高,碳汇能力表现较好。

关键词:树种;配置模式;碳汇林;土壤;碳积累

中图分类号:S153.6⁺1;S718.51⁺6

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2021.01.005

Effect of different tree species allocation pattern on soil carbon change in early stage of afforestation

Zhu Xiaowu, Wu Yuehong, Ji Yanling*, Xiao Zexin, Liu Zexin

(Shantou Forestry Science Institute, Shantou 515041, China)

Abstract: In order to study the effect of carbon sequestration afforestation on soil carbon under different tree species allocation patterns, 5 allocation patterns of 12 tree species (according to different number proportion) were designed. The trees were randomly arranged in 5 blocks of the same site, with another block of the same site as control (CK). The results showed that in the 0—20 cm soil layer, there were significant differences in carbon content between 5 patterns and CK ($P < 0.05$); in the 20—60 cm soil layer, significant difference occurred between Pattern 2, 3, 4, 5 and CK ($P < 0.05$), but no significant difference between Pattern 1 and CK. For the soil carbon storage, the order was presented as followed, Pattern 2 > Pattern 4 > Pattern 3 > Pattern 5 > Pattern 1 > CK. The soil carbon storage of 5 allocation patterns was significantly higher than that of CK, with the soil carbon storage of Pattern 2, 3, 4 and 5 significantly higher than that of Pattern 1 while the difference was not significant among Pattern 2, 3, 4 and 5. The soil carbon storages of Pattern 2 and 4 were (106.14 ± 22.39) and (104.72 ± 28.63) Mg C/hm², respectively. So we concluded that such allocation patterns as *Machilus chinensis* 25% + *Castanopsis hystrix* 25% + *Cinnamomum camphora* 20% + *Mytilaria laosensis* 10% + *Casuarina equisetifolia* 10% were better for carbon sequestration.

收稿日期:2020-11-02;修回日期:2020-11-17

基金项目:广东省林业科技创新项目“潮汕地区碳汇造林树种选择及配置方式研究”(2014KJ CX021-05)

作者简介:朱晓武(1991—),男,湖北武穴人,硕士。主要从事森林培育、森林生态研究。E-mail:458431684@qq.com。

*通信作者:纪燕玲(1980—),女,广东汕头人,高级工程师,大学本科毕业。主要从事森林病虫害及森林生态研究。E-mail:miccaj@163.com。

tifolia 10%+Cleistocalyx operculatus 10% and Michelia macclurei 30%+ Bischofia javanica 20%+Acacia mangium 20%+Acacia confusa 10%+Mytilaria laosensis 10%+Casuarina equisetifolia 10% could bring higher soil carbon accumulation and better carbon sink capacity.

Key words: Tree species; Allocation pattern; Carbon sequestration forest; Soil; Carbon accumulation

自工业革命以来,由于人类进行各类生产活动,尤其是化石燃料的燃烧等,大气中 CO₂的质量分数升高,严重影响到了人类的生活发展^[1]。森林生态系统作为陆地生态系统的主体,不仅维持着大量的植被碳库(约占全球植被碳库的 86%),也维持着巨大的土壤碳库(约占全球土壤碳库的 73%)^[2]。造林主要通过增加林木生物量和改变土壤碳来影响陆地生态系统碳储量^[3]。造林虽然对土壤碳储量的影响相比生物量要小得多,但由于土壤库容量大,土壤中储存的碳大约是植物的 1.5—3 倍^[4],因此造林导致土壤碳库储量较小幅度的变化,都会影响到人工林的净碳积累,最终影响大气中 CO₂的水平。因此,通过造林来增加土壤碳汇功能及潜力,对于缓解全球气候变化具有重要的意义^[5-7]。

目前,已从森林碳储量的估算^[8-9]、分布格局^[10]、土壤碳含量特征^[11]以及树种的含碳特征^[12]等方面开展了较多的研究,但针对土壤碳含量特征的研究主要集中在对现有的成熟林分,如刘延惠等^[13]对 10 年生以上的落叶松人工林的土壤有机碳含量进行比较分析。自 2009—2018 年以来,我国每年的造林面积均超过了 533 万 hm²,并且造林面积逐年增长^[14]。粤东地区的优良造林树种较多,但从碳汇角度科学合理选择优良造林树种的研究较少,因此,开展不同配置模式造林的碳汇能力研究对于指导碳汇造林、提高碳汇造林效率有重要的意义。本研究通过探讨不同树种配置模式对土壤碳的影响,为当地的碳汇造林设计和碳汇能力的评价提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于汕头市潮南区陇田镇崎汀山,地处北回归线以南,属南亚热带海洋性气候。夏长冬短,无霜期长,日照充足,雨量充沛,四季常青。年平均气温 21.6 ℃,日照时数 2 191 h。年平均降水量 1 700 mm 左右,雨季多集中在 4—9 月。山地成土母岩主要为花岗岩和砂岩,自然土壤以赤红壤为主。土壤长期受热带风暴吹袭和雨水冲刷,有机质

含量少,土层薄,石质含量高,土壤总体肥力状况差,属生态区位重要和生态环境脆弱地区。由于长期人为干扰和破坏,原始植被已不复存在,原始次生植被也少见。主要植被类型有鸭脚木(*Schefflera octophylla*)、岗茶(*Eurya chinensis*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、地稔(*Melastoma dodecandrum*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*),无乔木。

1.2 试验区设置

参考《广东省林业碳汇计量研究与实践》^[15],筛选以乡土树种为主且生长表现较好的樟树(*Cinnamomum camphora*)、华润楠(*Machilus chinensis*)、木荷(*Schima superba*)、马占相思(*Acacia mangium*)、台湾相思(*A. confusa*)、米老排(*Mytilaria laosensis*)、木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)、红锥(*Castanopsis hystrix*)、水翁(*Syzygium nervosum*)、山杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)、火力楠(*Michelia macclurei*)、秋枫(*Bischofia javanica* BL.)等 12 个树种,按各树种数量设计 5 个配置模式,即配置模式 1:台湾相思 40%+木荷 40%+马占相思 10%+樟树 10%;配置模式 2:华润楠 25%+红锥 25%+樟树 20%+米老排 10%+木麻黄 10%+水翁 10%;配置模式 3:马占相思 30%+华润楠 25%+山杜英 25%+木麻黄 10%+台湾相思 5%+樟树 5%;配置模式 4:火力楠 30%+秋枫 20%+马占相思 20%+台湾相思 10%+米老排 10%+木麻黄 10%;配置模式 5:台湾相思 20%+木荷 20%+樟树 20%+木麻黄 20%+火力楠 15%+水翁 5%。

试验于 2016 年开始,将试验点分成 6 个区域,每个区域 2.7 hm²,种植密度为 1 110 株/hm²,按配置模式随机选取分别种植在 5 个区域,另 1 区作为对照,保留其植被原始状态。由于缺乏造林前土壤碳含量相关数据,此次研究采用试验区与未造林区作对比^[7]。

表 1 试验区概况

配置模式	经纬度		海拔/m	坡向	坡度/°	土壤类型
对照	23°6'14"N	116°28'16"E	329	东南	25	赤红壤
1	23°6'14"N	116°28'49"E	351	东北	29	赤红壤
2	23°6'17"N	116°29'2"E	313	东南	27	赤红壤
3	23°6'18"N	116°28'51"E	362	东南	25	赤红壤
4	23°6'15"N	116°28'56"E	355	南	20	赤红壤
5	23°6'18"N	116°28'54"E	330	东	20	赤红壤

1.3 样品采集与处理

于 2020 年 5 月,分别在每个区域随机选取 3 个 20 m×20 m 的样方,共样地 18 个,每个样地内按“品”字型采样法选取采样点 3 个,清除地面凋落物,每个采样点分别按照土层深度 0—20, 20—40, 40—60 cm 共 3 层采集土壤样品。每层取环刀 1 个、小铝盒 1 个,用环刀法测定^[16]计算土壤容重。每层取土样 500 g,共计样品 162 个,带回实验室。将采集的土壤样品自然风干后碾碎,以四分法取适量样品过 100 目筛后测定土壤全碳含量。

1.4 含碳量测定与碳储量计算

土壤全碳含量采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法^[16]测定。

土壤碳储量计算公式^[17]: $T(\text{Mg C}/\text{hm}^2) = \sum 0.1E_i \times D_i \times C_i (1 - G_i)$

式中, E_i 代表第 i 层土层厚度(cm); D_i 代表第 i 层土壤容重(g/cm^3); C_i 代表第 i 层土壤全碳含量($\text{g C}/\text{kg}$); G_i 代表第 i 层直径大于 2 mm 的石砾所占的体积分数(%);0.1 为单位换算系数。

2 结果与分析

2.1 不同树种配置模式对土壤容重的影响

结果见表 2。由表 2 可知,在土壤层 0—20 cm, 试验区土壤容重显著低于对照区($P < 0.05$),配置模式 2,3,4,5 之间土壤容重无明显差异($P > 0.05$);土壤层 20—40 cm,对照区与各试验区间均差异显著($P < 0.05$)。而土壤层 40—60 cm,5 种配置模式与对照间均无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 不同树种配置模式对土壤容重的影响

配置模式	土层深度/cm		
	0—20	20—40	40—60
对照	1.65±0.24 A	1.61±0.42 A	1.44±0.27 A
1	1.49±0.33 B	1.49±0.34 B	1.52±0.08 A
2	1.34±0.65 C	1.46±0.09 B	1.35±0.11 A
3	1.37±0.62 C	1.32±0.11 C	1.28±0.11 A
4	1.35±0.58 C	1.45±0.09 B	1.41±0.15 A
5	1.36±0.55 C	1.36±0.04 C	1.43±0.04 A

注:同列不同大写字母表示不同配置模式间结果差异显著($P < 0.05$)。

2.2 不同树种配置模式对土壤全碳含量的影响

不同土层深度的土壤碳含量各不相同(见表

3),大小顺序为土层深度 0—20 cm>20—40 cm>40—60 cm,说明土壤碳含量随着土层深度增加逐渐降低;在 5 个配置模式下,土层深度 0—20 cm 的碳含量与土层深度 20—40 cm、40—60 cm 差异显著($P < 0.05$),而土层深度 20—40 cm 与土层深度 40—60 cm 之间差异不显著($P > 0.05$);对照区 3 个不同土层深度的全碳含量差异不显著。

不同树种配置模式下,在土壤层 0—20 cm,对照分别与配置模式 1,2,3,4,5 之间的土壤碳含量之间差异显著($P < 0.05$),土壤碳含量大小顺序为:配置模式 3>4>2>5>1>对照;在土壤层深度 20—40 cm,对照与配置模式 2,3,4,5 之间的碳含量差异显著,与配置模式 1 之间差异不显著,土壤碳含量大小顺序为:配置模式 2>5>4>3>1>对照;在土壤层深度 40—60 cm,对照与配置模式 1 之间差异不显著,与配置模式 2,3,4,5 之间差异显著。

表 3 不同树种配置模式对土壤全碳含量的影响

配置模式	土层深度/cm		
	0—20	20—40	40—60
对照	7.54±1.98 Ca	6.05±2.22 Ca	3.38±0.99 Ba
1	16.21±6.13 Ba	7.34±2.69 Cb	4.93±1.58 Bb
2	21.79±5.49 Aa	14.88±3.43 Ab	11.04±4.04 Ab
3	26.01±8.92 Aa	10.06±3.74 Bb	8.51±2.52 Ab
4	22.49±5.42 Aa	13.22±4.98 Ab	10.81±3.28 Ab
5	16.64±7.64 Ba	13.51±3.99 Ab	12.41±4.50 Ab

注:同列不同大写字母表示不同树种配置模式间差异显著($P < 0.05$);同行不同小写字母表示不同土层深度间差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同树种配置模式对土壤碳储量的影响

由表 4 可知,在土壤层深度 0—20 cm,对照与各配置模式之间土壤碳储量差异显著($P < 0.05$),土壤碳储量大小顺序为:配置模式 3>4>2>1>5>对照;在土壤层深度 20—40 cm,对照与配置模式 1 之间无明显差异($P > 0.05$),与配置模式 2,3,4,5 之间差异显著,土壤碳储量大小顺序为:配置模式 2>4>5>3>1>对照;在土壤层深度 40—60 cm,土壤碳储量对照与配置模式 1 之间差异不明显,与配置模式 2,3,4,5 之间差异显著。土壤总碳储量大小顺序为:配置模式 2>4>3>5>1>对照,各配置模式与对照之间总碳储量差异显著。

表 4 不同树种配置对土壤碳储量的影响

配置模式	土层深度/cm			
	0—20	20—40	40—60	总和
对照	20.93±6.73 Ca	14.09±5.17 Cb	8.38±2.85 Dc	43.41±9.74 C
1	40.66±10.41 Ba	15.76±5.79 Cb	12.94±4.63 Db	69.35±20.88 B
2	49.13±12.38 Aa	31.40±7.23 Ab	25.62±8.51 Bb	106.14±22.39 A
3	59.93±20.55 Aa	19.17±7.03 Bb	18.72±5.55 Cb	97.82±26.53 A
4	50.98±11.82 Aa	27.54±8.38 Ab	26.19±6.95 Bb	104.72±28.63 A
5	38.06±11.32 Ba	26.63±7.87 Aa	32.28±8.40 Aa	96.97±19.13 A

注:同列不同大写字母表示不同配置模式下土壤碳储量差异显著($P<0.05$);同行不同小写字母表示不同土层碳储量差异显著($P<0.05$)。

3 结论与讨论

土壤碳储量在土层深度 0—20 cm 最高,且随着土层的深度增加碳含量逐渐减小,与大多研究结果一致^[18]。这是由于凋落物在土壤表层的集聚作用以及植物的根系集中分布在土壤表层^[19],深层土壤中的有机质主要依靠土壤表层凋落物的分解经淋溶作用下移,有机质含量自上而下逐渐减小^[20]。而植物的根系主导着深层土壤碳的分布与循环,黄林等^[21]研究表明:根长密度随土层深度的增加呈递减趋势,根长密度越大,不仅土壤容重减小,土壤性状得到改良,而且土壤有机碳积累增加。因此土壤碳含量随土壤深度增加表现为逐渐减小。而在深度土层 0—20 cm,配置模式 2,3,4 的碳储量显著高于配置模式 1,5,这可能是配置模式 3 和 4 的台湾相思+马占相思的数量总分数分别为 35%和 30%,因此配置模式 3,4 下根系生长较快,根系分泌作用较强,而配置模式 2 米老排+红锥的数量总分数为 35%,凋落物产量较高,因此配置模式 2,3,4 碳储量表现较高。而土层深度 20—40 cm,配置模式 2,4,5 碳储量显著高于配置模式 1 和 3,配置模式 3 碳储量反而较低。在土层深度 40—60 cm,配置模式 3 碳储量亦显著低于配置模式 2,4,5。有研究认为造林可以导致土壤碳在不同土壤深度的重新分配^[22],这是否导致配置 3 碳储量在土层深度 20—60 cm 表现较低,有待进一步分析论证。

本研究认为,5 种配置模式下,土壤碳储量均显著高于对照区,而相关研究表明,在热带地区,造林初期土壤碳储量通常是先下降或是没有明显影响^[23-24]。这与本次研究结果表现不一致。原因可能是凋落物和植物根系分泌作用与森林土壤碳积累的关系密切^[25]。造林前,林地主要以草本和灌木为主,且林地大量裸露,试验地点长期受到风暴吹

袭和雨水的冲刷,使得碳及养分等流失严重,林地退化。一方面随着植被的恢复,裸露面积减小,地表的径流侵蚀作用减弱,地表凋落物流失减少,植物的根系也得到一定程度的保护,土壤碳及养分的流失减少,且土壤结构趋于稳定,土壤质量改良,土壤容重降低^[26],试验区土壤容重显著小于对照区,土壤孔隙度增大,通气性好,增强土壤的保水保肥性能并有利于微生物的活动^[27];另一方面造林能促使大量的凋落物进入土壤层,经微生物分解作用,土壤碳积累增加。此外,气候(降雨和气温)条件也能影响土壤碳积累的速率,土壤碳积累速率随温度和湿度的增加而增加^[28]。试验区年平均气温 21.6℃,年降雨量 1 700 mm,因此,土壤碳积累的速率较快。台湾相思和马占相思是豆科合欢属植物,根系发达具有根瘤菌,能进行固氮作用,并促进根系的生长,增加根系生物量,提高土壤碳积累^[29]。

不同树种配置模式之间土壤总碳储量大小顺序为:配置模式 2 >4 >3 >5 >1,配置模式 1 总碳储量显著低于其余各配置模式。这可能与物种多样性不同有关^[30]。不同生态位以及互利共生的树种相互搭配,对资源(光照、水分和养分等)利用存在时空和需求上的差异,从而产生互补作用,导致植物多样性越丰富,对有限的资源的利用空间也就越大^[31]。除了配置模式 1 的混交树种为 4 种,其余 4 个配置模式混交树种为 6 种。有研究表明,随着物种多样性的增加,土壤碳储量增加^[32]。也有研究发现多物种混交能增加生态系统的稳定性,促进土壤结构性状的稳定,进而降低土壤有机碳的分解^[33]。同时,植物多样性的增加能增加凋落物的种类,改变微生物的数量和种类,增加土壤碳积累^[34]。此外,红锥为优良速生树种,凋落物多且易分解,土壤碳储量较高^[35]。唐靓茹等^[36]通过对红锥 4 种林型的土壤理化性质分析,发现红锥+米老排和火力楠+红锥混交

林能显著增加土壤有机碳及微生物生物量碳,这也可能是配置模式 2 和 4 碳储量表现较高的原因。而配置模式 2,3,4,5 之间总碳储量无明显差异,这可能是由于本次研究的造林时间较短,而土壤的碳周转率较慢,土壤的碳变化要经过一个漫长的转变过程^[37],也就导致这 4 个配置模式目前并没有呈现出规律性的变化,但可以肯定的是此次采用的速生+乡土树种的配置模式有助于增加土壤碳储量。

综上所述,不同配置模式下碳汇造林碳储量显著增加,但各配置模式间的差异并不明显。从目前总的碳储量表现来看,配置模式 2,4(樟树 20%+华润楠 25%+米老排 10%+木麻黄 10%+红锥 25%+水翁 10%以及台湾相思 10%+马占相思 20%+米老排 10%+木麻黄 10%+火力楠 30%+秋枫 20%)的土壤碳储量表现较高,碳汇能力初步表现较好,后续可重点观察配置模式 2,4 区碳汇变化情况。需要说明的是,本研究只是对造林后与未造林地的土壤碳进行了初步比较,且样本数据量有限,有待进一步从凋落物量及碳氮比、微生物数量、植物根系分布情况等方面,分析不同配置模式间土壤碳积累的变化差异。

参考文献:

- [1] FANF J Y, CHEN A P, PENG C H, et al.Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J].Science, 2001,292(5525):2320-2322.
- [2] CALDEIRA K, DUFFY P B.The role of the southern ocean in uptake and storage of anthropogenic carbon dioxide[J].Science, 2000,287(5453):620-622.
- [3] NORBY R J, LUO Y Q. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world[J]. New Phytologist, 2004, 162(2):281-293.
- [4] 常宗强,冯 起,司建华,等.祁连山不同植被类型土壤碳贮量和碳通量[J].生态学杂志,2008, 27(5):681-688.
- [5] 李怒云,国家林业局,冯晓明,等.中国林业应对气候变化碳管理之路[J].世界林业研究,2013,26(2):1-7.
- [6] 李 翀,周国模,施拥军,等.不同经营措施对毛竹林土壤有机碳的影响[J].林业科学,2015,51(4):26-35.
- [7] 史 军,刘纪远,高志强,等.造林对土壤碳储量影响的研究[J].生态学杂志,2005, 24(4):410-416.
- [8] 焦 燕,胡海清.黑龙江省森林植被碳储量及其动态变化[J].应用生态学报,2005,16(12):2248-2252.
- [9] 胡海清,罗碧珍,魏书精,等.大兴安岭 5 种典型林型森林生物碳储量[J].生态学报,2015,35(17):5745-5760.
- [10] 梁萌杰,陈龙池,汪思龙.湖南省杉木人工林生态系统碳储量分配格局及固碳潜力[J].生态学杂志,2016,35(4):896-902.
- [11] 文月荣,党廷辉,唐 骏,等.不同林地恢复模式下露天煤矿排土场土壤有机碳分布特征[J].应用生态学报,2016,27(1):83-90.
- [12] 马钦彦,陈遐林,王 娟,等.华北主要森林类型建群种的含碳率分析[J].北京林业大学学报,2002,24(5/6):96-99.
- [13] 刘延惠,王彦辉,于澎湃,等.六盘山南部华北落叶松人工林土壤有机碳含量[J].林业科学,2012,48(12):1-9.
- [14] 国家林业与草原局.2018 年全国林业和草原发展统计公报[R].2019.
- [15] 刘飞鹏,肖智慧.广东省林业碳汇计量研究与实践[M].北京:中国林业出版社,2013.
- [16] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [17] 李开志.不同改造措施对马尾松低效林有机碳储量的影响[D].雅安:四川农业大学,2012.
- [18] 李跃林,彭少麟,赵 平,等.鹤山几种不同土地利用方式的土壤碳储量研究[J].山地学报,2002,5(20):548-552.
- [19] TIAN H Q, CHEN G S, ZHANG C, et al.Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data[J].Biogeochemistry, 2010,98(1/3):139-151.
- [20] 徐英明,虞依娜,李 鑫,等.南亚热带不同造林模式碳汇林土壤碳积累与碳汇功能[J].生态学报,2017,39(1):359-366.
- [21] 黄 林,王 峰,周立江,等.不同森林类型根系分布与土壤性质的关系[J].生态学报,2012,32(19):610-619.
- [22] MENDHAM D S, O'CONNELL A M, GROVE T S. Change in soil carbon after land clearing or afforestation in highly weathered lateritic and sandy soils of south-western Australia[J].Agriculture, Ecosystems & Environment,2003,95:143-156.
- [23] ZINN Y L, DIMAS V S, RESCK J E. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil[J].Forest Ecology & Management,2002,166(1-3):285-294.
- [24] LACLAU P. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia[J]. Forest Ecology and Management,2003,180(1-3):317-333.
- [25] 杨万勤,邓仁菊,张 健.森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应[J].应用生态学报,2007,18(12):2889-2895.
- [26] 张梦旭,刘 蔚,朱 猛,等.黑河上游山地土壤容重分布特征及影响因素[J].山地学报,2019,37(2):198-205.
- [27] NOVARA A, GRISTINA L, SALA G, et al. Agricultural land abandonment in Mediterranean environment provides ecosystem services via soil carbon sequestration[J].Science of the Total Environment, 2017, 576:420-429.
- [28] POST W M, KWON K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J].Global Change Biology,2010, 6(3):317-327.
- [29] FORNARA D A, TILMAN D.Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation[J].Journal of Ecology,2008,96(2):314-322.
- [30] 龚志莲,李 勇.川西南不同植被木本物种多样性与土壤有机碳积累[J].生态环境学报,2015, 24(9):1447-1452.

程中,选择蝶类作为指示物种是具有可行性的。在春季,蝶类群落以斑缘豆粉蝶和菜粉蝶为优势种,但蝶类种数、个体数量以及多样性指数均为全年最低,均匀度指数也较低。春季蝶类种群活跃程度低。首先,可能与植被类型、植被覆盖率等指标有所联系,生境中的植被丰富程度和植物种类组成对蝶类群落的构成是有深刻影响的^[14];其次,春季正值农忙时节,由于频繁的农耕活动,以及喷洒化肥、杀虫剂、除草剂等人为干预现象的存在,也可能对蝶类的数量与生存状况造成不利的影响。此外,春季蝶类资源较少可能还与当地蝶类成虫羽化时间从早春开始有所关联,随着气温不断升高,夏季、秋季蝶类物种数量逐渐呈现出增多的特点。

基于本次调查的蝶类情况,对江苏省句容市陈庄农田蝶类资源多样性保护提出如下建议:(1)本次调查属于抽样调查,不能完全覆盖地域所有蝶类适宜栖息地,因此今后仍需加强当地蝶类本底资源调查,不断丰富区域性蝶类资源数据库内容,使得蝶类研究具有连续且详实的资料,为科学保护和合理利用提供依据;(2)增加植被及生境类型的多样性和异质性,在空间配置上提高景观多样性,建立稳定复杂的乡村生态系统;(3)要对农业生产过程中使用的化肥药剂进行科学管控,在退耕区、农业耕作区周边环境使用木本、草本植物结合、寄主植物与蜜源植物结合的栽种方式,为蝶类活动、繁殖、取食等提供良好的环境^[3]。(4)加强蝶类保护宣传教育工作,提高周边居民蝶类保护意识,引导居民开展蝶类识别、监测等志愿工作。

参考文献:

- [1] 寿建新,周 尧,李宇飞.世界蝴蝶分类名录[M].西安:陕西科学技术出版社,2006:5-6.
 - [2] 杨 芳,贺达汉.生境破碎化对植物——昆虫及昆虫之间相互关系的影响[J].昆虫知识,2007,44(5):642-646.
 - [3] 孙玉芳,李 想,张宏斌,等.农业景观生物多样性功能和保护对策[J].中国生态农业学报,2017,25(7):993-1001.
 - [4] 周 尧.中国蝴蝶分类与鉴定[M].郑州:河南科学技术出版社,1998.
 - [5] 陈晓鸣,周成理,史军义,等.中国观赏蝴蝶[M].北京:中国林业出版社,2008:6.
 - [6] 张松奎,张花青.南京蝴蝶生态图鉴[M].南京:南京师范大学出版社,2018.
 - [7] 周 尧.中国蝶类志:上下卷[M].郑州:河南科学技术出版社,1994.
 - [8] 武春生,孟宪林,王 蓓.中国蝶类识别手册[M].北京:科学出版社,2017.
 - [9] 曹天文,王 瑞,黄晋明,等.山西蝶类分布与多样性保护的建
议[C].山西省农业科学院植物保护研究所.中国昆虫学会成
立 60 周年纪念大会暨学术研讨会,2004.
 - [10] 贺 奇,冯新华,王新谱,等.宁夏六盘山国家级自然保护区蝴
蝶多样性调查[J].植物保护学报,2019,46(6):1301-1309.
 - [11] WEIBULL A C, BENGTTSSON J, NOHLGREN E. Diversity of
butterflies in the agricultural landscape: the role of farming system
and landscape heterogeneity. *Ecography*, 2000, 23(6): 743-750.
 - [12] 张燕萍,卢祥云.常熟地区蝶类资源调查初报[J].常熟理工学
院学报,2006,20(4):78-80.
 - [13] 钟华瀚,胡润涛,袁李飞,等.老山国家森林公园蝴蝶物种调查
及分析[J].江苏林业科技,2018,45(6):34-38,43.
 - [14] 尹丽文.杭州市江洋畈生态公园蝶类多样性和植物景观相关
性研究[J].杭州:浙江农林大学,2019.
-
- (上接第 25 页)
- [31] BROCKERHOFF E G, JACTEL H, PARROTTA J A, et al. Plan-
tation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? [J].
Biodiversity and Conservation, 2008, 17(5): 925-929.
 - [32] 关炳昌,刘家豪,朱宇恩,等.矿区恢复植被配置模式对土壤碳
库与生物多样性的影响[J].山西大学学报(自然科学版),
2020,43(1):196-205.
 - [33] JANDL R, LINDNER M, VESTERDAL L, et al. How strongly can
forest management influence soil carbon sequestration? [J]. *Geo-
derma*, 2007, 137(3-4): 253-268.
 - [34] ZHANG Y B, DUAN B L, XIAN J R, et al. Links between plant
diversity, carbon stocks and environmental factors along a succes-
sional gradient in a subalpine coniferous forest in Southwest China
[J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262(3): 361-369.
 - [35] 赵 樟,温远光,周晓果,等.南亚热带杉木、红锥人工林碳储
量及分配特征[J].广西科学,2020,27(2):120-127.
 - [36] 唐靓茹,刘雄盛,蒋 毅,等.红锥 4 种林型土壤理化性质及微
生物量差异分析[J].中南林业科技大学学报,2020,40(1):
76-81,104.
 - [37] IGBP Terrestrial Carbon Working Group. CLIMATE: The
Terrestrial Carbon Cycle: Implications for the Kyoto Protocol [J].
Science, 1998, 280(5368): 1393-1394.