

火烧和氮沉降条件下土壤微生物对林下植被动态影响的研究进展

苗原,刘啸林,王敏,朱雅,刘珂彤,徐琪,韩士杰,苗仁辉

(河南大学 生命科学学院,河南 开封 475004)

摘要:土壤微生物对林下植被动态的调控作用对于森林生态系统功能的发挥至关重要.火烧和氮沉降均会直接或间接影响土壤微生物群落的组成与活性.在氮沉降的背景下,火烧后土壤微生物对林下植被恢复的调控是否中断、失调,对生态系统是否健康稳定发展起到关键作用.综述了火烧和氮沉降对林下植被动态和土壤微生物群落的影响及其可能的潜在交互作用,论述了土壤微生物对林下植被可能的调节作用.不同地区、不同森林的林下植被对火烧和氮沉降的响应不同,且可能存在不同的交互响应.目前主要侧重于单个火烧或者氮沉降因子对林下植被动态及其调控机制的研究,亟须开展在火烧格局变化和大气氮沉降同时发生的情景下对林下植被可能产生的影响,以及其发生变化的土壤微生物学机制相关的研究.研究结果有助于为火烧后林下植被恢复机制研究提供新的依据,同时为林火干扰生态系统的适应性管理提供决策支持.

关键词:火干扰;全球变化;群落演替;生物多样性;微生物组成

中图分类号:Q148

文献标志码:A

在全球变暖、干旱加剧和降雨格局改变的背景下,火烧尺度、强度和频度正越来越大^[1-2].火烧会改变生物和非生物环境^[3-5],进而影响植被群落组成、结构和功能^[6],这是森林中维持生物多样性和生态系统功能的重要生态过程之一^[7].火烧也常被用作森林管理和恢复策略,会通过直接影响土壤微生物的组成,间接影响土壤环境条件和养分有效性,改变土壤微生物活性和生物量^[8-10].因此,在火烧发生过程中,森林生态系统的植被和土壤微生物群落都会受到危害.

火烧后,植物叶片的光合作用是决定陆地生态系统植物生长和存活及初级生产力恢复的关键过程^[11].火烧后增加的可利用氮含量可以增加植物氮的吸收和叶片氮浓度^[12],进而促进植物光合作用^[13].大气氮沉降也可以通过增加土壤速效氮含量、植物氮吸收量和土壤微生物组成与活性而增加叶片氮含量,进而促进植物光合作用^[11].然而,对于同时发生火烧和氮沉降如何影响植物的光合作用并改变植物群落动态缺乏认识.

林下植被是维持生态系统物种多样性的主要组成部分^[14],对维持森林生态系统生物多样性和调节土壤生物地球化学循环起着重要作用^[15-17].火烧后林下植被生产力和生物多样性的恢复较慢,需要10年以上时间才能恢复到顶级群落水平^[18],而土壤微生物量恢复相对较快,短期内即可恢复到较高水平^[19-20].恢复的土壤微生物通过氮矿化提高氮的可利用性以及加速有机物分解调节土壤碳氮循环过程改变植物生长速率和功能群组成,调控植物群落物种多样性和演替进程^[21-23].此外,火烧杀死林下层植被并降低林冠层厚度而增大林窗以改善植被更新所需的光照条件,同时从林下植被和地表有机物燃烧过程中直接移除大量氮^[24-26],进而引起植物生长的氮限制^[27].氮添加可以减轻由火烧造成的氮素损失,解除植物生长的氮限制^[28],并改变微生物的组成和活性^[29],促进植物生长和生产力提高,引起群落结构和生物多样性的变化,进而影响林下植物

收稿日期:2021-04-12;**修回日期:**2021-05-14.

基金项目:河南省重大公益专项(201300311300);国家自然科学基金(31670477);河南省科技攻关项目(192102110085);河南省自然科学基金(202300410082).

作者简介:苗原(1988-),男,河南济源人,河南大学副教授,主要研究方向为全球变化生态学,E-mail:miaoyuan0921@126.com.

通信作者:苗仁辉(1985-),E-mail:miaorenhui@vip.henu.edu.cn.

的恢复速度^[27].因此,研究氮添加在影响林下植被恢复过程中的微生物调节机制,将会为森林生态系统持续、健康和稳定发展的管理决策制定提供理论依据和数据参考.

1 林下植被对火烧和氮沉降的响应

林下植被对火烧的响应.从现有文献来看,关于林下植被对火烧响应的研究,主要是关于林下植被对不同火烧强度、频度和恢复时间的响应^[30-31],以及林下植被对不同火烧发生季节的响应^[11].杨健等^[32]通过分析已有文献发现火烧后林下植被群落结构和功能恢复较慢,一般至少需要10年以上才能达到顶级群落水平.最近的研究^[33]表明,火烧后存在的物种类型与火烧强度有关,如低强度火烧是非洲火烧迹地植被动态和土壤碳排放的关键驱动力^[34],一般在火烧后初期,植被物种丰富度增加,之后逐渐趋于稳定.也有研究表明,低强度火烧对林下植被影响较小,而中度和重度火干扰会极大改变林下植被组成.由于草本的繁殖体主要存在于腐殖质层,而灌木的根系较深,因此,高强度火烧会引起林下植被灌丛化^[35].此外,火烧频率对林下植被也有重要影响.低频率火烧引起林下层草本和灌木的生产力下降,乔木生产力增加;高频率火烧促进林下植被组成和多样性增加^[11].

林下植被对氮沉降的响应.自20世纪以来,全球氮沉降呈现一个迅猛增加的趋势^[36],我国是全球氮沉降最为严重的三大地区之一^[37].XIA等^[27]通过整合分析发现不同功能群的植物对氮添加的响应不同,相同功能群的植物生物量对氮添加的响应随纬度增加而降低.LEBAUER等^[38]研究表明草原生态系统地上净初级生产力对氮添加的响应有明显的纬度依赖性,而森林生态系统对氮添加响应没有表现出纬度规律,但是温带森林和热带森林的地上净初级生产力对氮添加的响应不同.上述结论说明,草原生态系统对氮添加的响应不能推移到森林生态系统,不同纬度不同森林生态系统类型间也不能相互推移.ELSER等^[29]发现氮添加会通过提高植物氮含量、降低植物碳氮比和植物根冠比促进氮限制生态系统的植被恢复.

林下植被对火烧和氮沉降的响应可能存在交互作用.火烧从森林生态系统直接移除大量氮素,进而引起植物生长的氮限制^[25,27].在当前气候变化背景下,氮沉降可以减轻植物生长的氮限制,促进火烧后的植被恢复.林下植被对火烧或氮沉降的响应进行过大量的研究,但基本都是单一因素的研究,而林下植被对火烧和氮沉降的响应并非简单的加和^[39].那么林下植被对火烧和氮沉降的响应是否存在交互作用?如果存在交互作用,林下植被对此两因素的响应如何?这些科学问题,需通过进一步的研究来剖析和解决.

2 土壤微生物对火烧和氮沉降的响应

土壤微生物对火烧的响应.国内外研究^[8-10]表明,火烧会通过直接影响土壤微生物的组成,间接影响土壤环境条件和养分的有效性,改变土壤微生物活性和生物量.火烧增加土壤温度,降低土壤湿度^[5],进而影响土壤微生物活性^[40].ROUSK等^[4]研究发现火烧引起的高pH适合细菌而不适合真菌的生长,同时,细菌比真菌更易于火烧后的恢复.先前研究发现土壤微生物量对火烧的响应并不一致,有正的^[41]、负的^[42-43]和中性^[20]的效应,这主要是由于不同的林火干扰移除的凋落物和土壤微生物的种类不同,以及火烧后灰分沉降对存活土壤微生物的促进作用的差异引起的^[19,44].

此外,土壤微生物也受氮沉降的影响.国内外研究^[45-47]表明,土壤微生物对氮沉降的响应,主要受实验持续时间、氮沉降总量和植物群落组成的影响.短期少量的氮沉降可以提高微生物生物量^[48].但是长期大量的氮沉降将通过酸化土壤、提高渗透压、消耗矿化的土壤、增加铝离子来抑制土壤微生物活性^[45,49].氮沉降还可以通过改变植物群落组成和生物量分配而改变土壤微生物群落组成^[27,46].

土壤微生物对火烧和氮沉降的响应可能存在交互作用.研究表明,火烧可以通过直接杀死土壤表层的部分微生物^[50],也可以通过燃烧移除地表的凋落物层和降低林冠厚度,增加土壤温度和土壤pH,降低土壤湿度^[51],进而间接影响土壤微生物的组成和活性^[9,40].氮沉降主要通过增加土壤养分、降低土壤pH,影响植物群落组成和生物量分配以及增加土壤中铝离子等改变土壤微生物的组成和活性^[27,45-46,49].但氮沉降促进林火干扰后生态系统恢复缺乏足够的认识.火烧地在模拟氮沉降条件下,土壤微生物对火烧和氮沉降的响应是否存在交互作用?以及这种交互作用将对土壤微生物群落的影响如何?这些科学问题还不得而知,需要进

一步通过控制实验去探索。

3 土壤微生物对林下植被的调控作用

土壤微生物在陆地生态系统功能方面起着重要作用,是植物多样性的重要驱动者^[22-23]。VAN DER HEIJDEN 等^[22]估计全球至少有 20 000 种植物需要微生物共生来维持,独立存活的土壤微生物可以通过氮矿化改善土壤可利用氮库促进植物恢复,共生和寄生的土壤微生物则可以通过改变植物生长的资源分配影响植物优势度来调节生物多样性。同时也有部分有害的微生物会使优势植物感染以及同植物根系竞争养分或促使养分的淋溶损失而降低植物生产力。在林火发生过程中,林下植被和土壤微生物群落都会受到危害,火烧后微生物的恢复要快于植被的恢复^[9,52]。这种情景下,土壤微生物的变化会改变植物养分供给和资源分配,而这些改变将会通过提高植物生长所需养分的可利用性和降低养分贫瘠地区植物间的竞争,促进植物生产力的提高、幼苗建立和改变次要物种相对优势度,进而调节火烧地林下植被的恢复演替^[22]。然而,在氮沉降背景下,土壤微生物如何调节火烧地的林下植被恢复,还不得而知,需要进一步的探索阐述。

4 展 望

尽管关于林下植被和土壤微生物对火烧或者氮沉降的响应进行了大量的研究,然而这些实验大多都是对火烧或者氮沉降单一因素的研究,关于这两种因素对林下植被和土壤微生物恢复过程的交互影响缺乏理解。同时在这两种因素下土壤微生物对林下植被动态的影响机制缺乏足够认识,这极大地限制了人们对火烧和氮沉降情景下土壤微生物对林下植被动态调控作用的理解。此外,不同纬度不同森林生态系统林下植被和土壤微生物对火烧或氮沉降的响应机制不同,且不能相互推移。因此,在未来的研究中,应该进一步加强不同地区发生火烧对林下植被动态的联网研究,以及火烧和氮沉降对植被群落动态影响机制的研究,认识火烧后林下植被的演替规律,为科学管理火烧后森林生态系统提供理论依据,保证火烧后生态系统的生物多样性和植物生产力。

参 考 文 献

- [1] PACHAURI R K, ALLEN M R, BARROS V R, et al. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
- [2] NORTH M P, STEPHENS S L, COLLINS B M, et al. Reform forest fire management[J]. Science, 2015, 349(6254): 1280-1281.
- [3] TRESEDER K K, MACK M C, CROSS A. Relationships among fires, fungi, and soil dynamics in Alaskan boreal forests[J]. Ecological Applications, 2004, 14(6): 1826-1838.
- [4] ROUSK J, BROOKES P C, BÅÅTH E. The microbial PLFA composition as affected by pH in an arable soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(3): 516-520.
- [5] HOLDEN S R, BERHE A A, TRESEDER K K. Decreases in soil moisture and organic matter quality suppress microbial decomposition following a boreal forest fire[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 87: 1-9.
- [6] DE ASSIS BARROS L, MENDONÇA B A F D, SOTHE C, et al. Fire in the Atlantic Rainforest: an analysis of 20 years of fire foci distribution and their social-ecological drivers[J]. Geocarto International, 2021: 1-25.
- [7] ARAGAO L E O C, SHIMABUKURO Y E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD[J]. Science, 2010, 328(5983): 1275-1278.
- [8] HART S C, DELUCA T H, NEWMAN G S, et al. Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220(1/2/3): 166-184.
- [9] MATAIX-SOLERA J, GUERRERO C, GARCÍA-ORENES F, et al. Forest fire effects on soil microbiology[M]// Fire Effects on Soils and Restoration Strategies. [S.l.]: CRC Press, 2009: 149-192.
- [10] SUN X Q, HU L H, CHOW W K, et al. A theoretical model to predict plume rise in shaft generated by growing compartment fire[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2011, 54(4): 910-920.
- [11] HU M J, LIU Y C, WANG T T, et al. Fire alters soil properties and vegetation in a coniferous-broadleaf mixed forest in central China[J]. Forests, 2020, 11(2): 164.
- [12] SOLOMUN M K, FERREIRA C S S, EREMIJA S, et al. Long-term fire effects on vegetation and topsoil properties in beech forests of Manjaca Mountain (western Bosnia and Herzegovina)[J]. International Journal of Wildland Fire, 2021, 30(4): 269.

- [13] HEBERLING J M, FRIDLEY J D. Invaders do not require high resource levels to maintain physiological advantages in a temperate deciduous forest[J]. *Ecology*, 2016, 97(4): 874-884.
- [14] ABELLA S R, SPRINGER J D. Effects of tree cutting and fire on understory vegetation in mixed conifer forests[J]. *Forest Ecology and Management*, 2015, 335: 281-299.
- [15] GILLIAM F S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems[J]. *BioScience*, 2007, 57(10): 845-858.
- [16] BARBIER S, GOSSELIN F, BALANDIER P. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved: A critical review for temperate and boreal forests[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 254(1): 1-15.
- [17] WOOD T E, LAWRENCE D, CLARK D A, et al. Rain forest nutrient cycling and productivity in response to large-scale litter manipulation[J]. *Ecology*, 2009, 90(1): 109-121.
- [18] HART S A, CHEN H Y H. Understory vegetation dynamics of north American boreal forests[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2006, 25(4): 381-397.
- [19] WAN S Q, HUI D F, LUO Y Q. Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: a meta-analysis[J]. *Ecological Applications*, 2001, 11(5): 1349-1365.
- [20] RUTIGLIANO F A, MARCO A, D'ASCOLI R, et al. Impact of fire on fungal abundance and microbial efficiency in C assimilation and mineralisation in a Mediterranean maquis soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 44(2): 377-381.
- [21] REYNOLDS H L, PACKER A, BEVER J D, et al. Grassroots ecology: plant-microbe-soil interactions as drivers of plant community structure and dynamics[J]. *Ecology*, 2003, 84(9): 2281-2291.
- [22] VAN DER HEIJDEN M G A, BARDGETT R D, VAN STRAALLEN N M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems[J]. *Ecology Letters*, 2008, 11(3): 296-310.
- [23] KLIRONOMOS J, ZOBEL M, TIBBETT M, et al. Forces that structure plant communities: quantifying the importance of the mycorrhizal symbiosis[J]. *New Phytologist*, 2011, 189(2): 366-370.
- [24] FRATERRIGO J M, REMBELSKI M K. Frequent fire reduces the magnitude of positive interactions between an invasive grass and soil microbes in temperate forests[J]. *Ecosystems*, 2021: 1-18.
- [25] HALPERN C B, LUTZ J A. Canopy closure exerts weak controls on understory dynamics: a 30-year study of overstory-understory interactions[J]. *Ecological Monographs*, 2013, 83(2): 221-237.
- [26] HOSSEINI BAI S, SUN F F, XU Z H, et al. Ecophysiological status of different growth stage of understorey *Acacia leiocalyx* and *Acacia disparrima* in an Australian dry sclerophyll forest subjected to prescribed burning[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2013, 13(8): 1378-1385.
- [27] XIA J Y, WAN S Q. Global response patterns of terrestrial plant species to nitrogen addition[J]. *New Phytologist*, 2008, 179(2): 428-439.
- [28] LU M, YANG Y H, LUO Y Q, et al. Responses of ecosystem nitrogen cycle to nitrogen addition: a meta-analysis[J]. *New Phytologist*, 2011, 189(4): 1040-1050.
- [29] ELSER J J, BRACKEN M E S, CLELAND E E, et al. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems[J]. *Ecology Letters*, 2007, 10(12): 1135-1142.
- [30] 邱扬, 李湛东, 张玉钧, 等. 火干扰对大兴安岭北部原始林下层植物多样性的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(9): 2863-2869.
- QIU Y, LI Z D, ZHANG Y J, et al. The effects of fire disturbance on the biodiversity of understory plant in virgin forest, northern region of Daxinganling Mountains, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 2863-2869.
- [31] SMIRNOVA E, BERGERON Y, BRAIS S. Influence of fire intensity on structure and composition of jack pine stands in the boreal forest of Quebec: Live trees, understory vegetation and dead wood dynamics[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(7): 2916-2927.
- [32] 杨健, 孔健健, 刘波. 林火干扰对北方针叶林林下植被的影响[J]. *植物生态学报*, 2013, 37(5): 474-480.
- YANG J, KONG J J, LIU B. A review of effects of fire disturbance on understory vegetation in boreal coniferous forest[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(5): 474-480.
- [33] STEPHENSON S L, PAYAL N, KAUR G, et al. Assemblages of myxomycetes associated with three different substrates affected by forest wildfires[J]. *Plant Ecology and Evolution*, 2021, 154(1): 15-27.
- [34] RAMO R, ROTETA E, BISTINAS I, et al. African burned area and fire carbon emissions are strongly impacted by small fires undetected by coarse resolution satellite data[J]. *PNAS*, 2021, 118(9): e2011160118. DOI: 10.1073/pnas.2011160118.
- [35] 褚燕琴, 牛树奎, 陈锋, 等. 火干扰及环境因子对油松林林下植被的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2017, 34(1): 96-103.
- CHU Y Q, NIU S K, CHEN F, et al. Fire disturbance and environmental factors for the undergrowth in a *Pinus tabulaeformis* forest[J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2017, 34(1): 96-103.
- [36] GRUBER N, GALLOWAY J N. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle[J]. *Nature*, 2008, 451(7176): 293-296.
- [37] LIU X J, ZHANG Y, HAN W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. *Nature*, 2013, 494(7438): 459-462.
- [38] LEBAUER D S, TRESEDER K K. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed[J]. *Ecology*, 2008, 89(2): 371-379.

- [39] HURTEAU M, NORTH M. Mixed-conifer understory response to climate change, nitrogen, and fire[J]. *Global Change Biology*, 2008, 14(7):1543-1552.
- [40] DOVE N C, KLINGEMAN D M, CARRELL A A, et al. Fire alters plant microbiome assembly patterns: integrating the plant and soil microbial response to disturbance[J]. *New Phytologist*, 2021, 230(6):2433-2446.
- [41] MABUHAY J A, NAKAGOSHI N, HORIKOSHI T. Microbial biomass and abundance after forest fire in pine forests in Japan[J]. *Ecological Research*, 2003, 18(4):431-441.
- [42] CHOROMANSKA U, DELUCA T H. Prescribed fire alters the impact of wildfire on soil biochemical properties in a ponderosa pine forest[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(1):232-238.
- [43] RODRÍGUEZ A, DURÁN J, FERNÁNDEZ-PALACIOS J M, et al. Short-term wildfire effects on the spatial pattern and scale of labile organic-N and inorganic-N and P pools[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(2):739-746.
- [44] WANG Q K, ZHONG M C, WANG S L. A meta-analysis on the response of microbial biomass, dissolved organic matter, respiration, and N mineralization in mineral soil to fire in forest ecosystems[J]. *Forest Ecology and Management*, 2012, 271:91-97.
- [45] TRESEDER K K. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies[J]. *Ecology Letters*, 2008, 11(10):1111-1120.
- [46] LIU L L, GREAVER T L. A global perspective on belowground carbon dynamics under nitrogen enrichment[J]. *Ecology Letters*, 2010, 13(7):819-828.
- [47] LIU W X, XU W H, HONG J P, et al. Interannual variability of soil microbial biomass and respiration in responses to topography, annual burning and N addition in a semiarid temperate steppe[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3/4):259-267.
- [48] ALLISON S D, LEBAUER D S, OFRECIO M R, et al. Low levels of nitrogen addition stimulate decomposition by boreal forest fungi[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(2):293-302.
- [49] NIU S L, XING X R, ZHANG Z, et al. Water-use efficiency in response to climate change: from leaf to ecosystem in a temperate steppe[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(2):1073-1082.
- [50] BÁRCENAS-MORENO G, BÅÅTH E. Bacterial and fungal growth in soil heated at different temperatures to simulate a range of fire intensities[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(12):2517-2526.
- [51] HOLDEN S R, TRESEDER K K. A meta-analysis of soil microbial biomass responses to forest disturbances[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2013, 4:163. DOI:10.3389/fmicb.2013.00163.
- [52] REVERCHON F, XU Z H, BLUMFIELD T J, et al. Impact of global climate change and fire on the occurrence and function of understory legumes in forest ecosystems[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2012, 12(2):150-160.

Review of regulation of soil microbes on understory vegetation dynamic under fire and nitrogen deposition conditions

Miao Yuan, Liu Xiaolin, Wang Min, Zhu Ya, Liu Ketong, Xu Qi, Han Shijie, Miao Renhui

(School of Life Sciences, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: Regulation of soil microbes on understory vegetation dynamic plays an important role in forest ecosystem function. Fire and atmospheric nitrogen(N) deposition can directly or indirectly influence the composition and activity of soil microbes. Whether this regulation effects will be interrupted or imbalance under nitrogen deposition scenario in forest fire disturbance ecosystem, play an important role in healthy and stable development of ecosystems. This paper summarized the effects of fire and N deposition on understory vegetation and soil microbial community and the potential interactions, and analyzed the possible regulation mechanism of soil microbes on understory vegetation dynamics. Different forests in different regions have inconsistent responses to fire and N addition, and the combined effects of these two factors on understory vegetation may not the simple addition of single factor. Current researches mainly focused on the response of understory vegetation to fire or N addition and the potential mechanism, and scarce were about the combined effects of these two factors on understory vegetation and microbes mechanism. The results will not only provide a new basis to the recovery mechanism of understory vegetation in fire disturbance field in N deposition, but also have significant implications for the sustainable and adaptive management of the forest fire disturbance ecosystem.

Keywords: fire disturbance; global change; community succession; biodiversity; microbial composition

本期专家介绍



韩士杰,河南大学特聘教授,博士,博士生导师.中国科学院二级研究员,中科院大学特聘教授,中国生态学会长期生态研究专业委员、China Flux Net 委员会委员.中科院“百人计划(A)”入选者,国家首批“百千万人才工程”入选者.长期从事界面生态学、全球变化及其与森林生态学交叉科学研究工作,建立“森林界面生态学”学科,在国内率先开展森林生态系统碳通量定位研究.主持“十三五”国家重点研发计划(全球变化应对专项)项目、国家重大基础研究计划(973 计划)项目、国家科技基础性工作专项重点项目和 4 项国家自然科学基金重点项目.发表 SCI 论文 200 余篇,荣获国家科技进步二等奖、国际气象组织 MUMM 奖、中科院优秀百人计划团队、国务院政府特殊津贴、科技部全国野外科技工作突出贡献者、首批中国生态系统研究网络科技贡献奖、朱李月华奖等.担任 *Journal of Forest Research*,《生态学报》和《植物生态学报》等多个学术期刊编委.

王晓春,东北林业大学教授,博士,博士生导师.教育部新世纪优秀人才计划入选者,森林生态系统可持续经营教育部重点实验室(东北林业大学)副主任,教育部长江学者创新团队骨干,黑龙江省“头雁行动计划”森林生态与保护创新研究团队骨干.担任《应用生态学报》编委.长期从事树木生长对全球气候变化的响应与适应研究,主持国家自然科学基金面上项目 5 项,国家重点研发计划子课题等其他项目 10 余项,发表论文 120 余篇,其中 SCI 收录论文 50 余篇,获黑龙江省科技进步二等奖 1 项.



弭元元,重庆大学医学院神经智能研究中心教授,物理学博士,博士生导师.获得国家自然科学基金优秀青年科学基金和北京市科技新星项目的支持.目前担任 *Frontiers in Computational Neuroscience* 的 Reviewer Editor、中国自动化学会《生物控制论与生物医学工程专业委员会》委员、中国神经科学学会《计算神经科学及神经工程委员会》委员.2012 年毕业于北京师范大学,获得理论物理专业的博士学位,并先后在以色列 Weizmann Institute of Science 和美国 Columbia University 做博士后研究.研究方向为计算神经科学,主要专注于脑在网络层面上处理动态信息的一般性原理,并发展相关的类脑智能计算模型.近年来,以第一或通讯(含共同)作者在 *Neuron*, *Progress in Neurobiology*, *PNAS* 等神经科学刊物, *NeurIPS*, *Neural Networks* 等人工智能刊物, *Phys Rev E*, *Europhys Lett* 等物理领域刊物上发表论文 20 余篇.合作指导的课题获得首届全国大学生类脑计算创新应用大赛暨国际邀请赛总决赛一等奖.