

中国东北样带羊草群落 C_3 和 C_4 植物功能群
生物量及其对环境变化的响应韩 梅¹, 杨利民^{1,*}, 张永刚¹, 周广胜²

(1. 吉林农业大学吉林省生态恢复与生态系统管理重点实验室, 长春 130118;

2. 中国科学院植物研究所植被数量生态重点实验室, 北京 100093)

摘要:在全球动态植被模型的发展中, 受限于人力、物力和财力使得在物种水平上的研究变得既不可能也无必要。植物功能群的划分是从生态学的, 而不是系统发育的角度来相互比较地对待不同地区的植物, 从而削减了植被变化研究中植物分类群的数量, 已成为研究植被变化及生物多样性对生态系统功能作用的重要单位。植物的不同光合途径(C_3 、 C_4 和 CAM)从叶片组织结构到生理功能, 从生态适应到地理分布均表现出对不同水、热、光环境的响应, 是理想的植物功能群分类。为此, 分析了中国东北样带以羊草(*Leymus chinensis*)为建群种或共建种的草原群落植物光合类型功能群生物量及其与群落初级生产力和环境变化的关系。结果表明: (1) C_4 植物生物量具有明显的变化规律, 且对环境变化的响应显著, 其变异性较高, 更能反映样地间环境变化的差异; (2) C_4 与 C_3 植物变化具有明显的互补性, 并且多数 C_4 植物常在逆境中起到更大作用, 如干旱化、盐碱化和放牧干扰; (3) C_4 植物种类少, 在所有调查样方中仅出现 7 种, 占总出现种类的 9.72%。这些特点说明 C_4 植物可以考虑作为评估和预测我国温带草原植被及其生态系统变化的重要植物功能群。

关键词:中国东北样带; 羊草群落; C_3 和 C_4 植物功能群; 生物量; 环境变化

文章编号: 1000-0933(2006)06-1825-08 中图分类号: Q948.1 文献标识码: A

The biomass of C_3 and C_4 plant function groups in *Leymus chinensis* communities and theirs response to environmental change along Northeast China transect

HAN Mei¹, YANG Li-Min^{1,*}, ZHANG Yong-Gang¹, ZHOU Guang-Sheng² (1. Key Laboratory for Ecological Restoration and Ecosystem Management of Jilin Province, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1825 ~ 1832.

Abstract: In the development of dynamic global vegetation model, under the limit of manpower, material and financial resources, the studies on species level not only were unlikely, but also were unnecessary. Plant function groups differentiated the plants of different regions from ecological aspect but not from system develop aspect, consequently the number of plants was put down. Now plant function groups have been the important units studying global vegetation change and the ecosystem function of biodiversity. The different photosynthesis approaches of plant, C_3 , C_4 and CAM, showed the different response to water, temperature and light from leaf tissue structure to physiological function and from ecological adaptability to geographical distribution. Therefore plant photosynthetic groups were some perfect plant function groups analyzing global vegetation change. Using Northeast China Transect

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G1999043407); 省部共建国家重点实验室培育基地-吉林省生态恢复与生态系统管理重点实验室开放基金资助项目(DS2004-20)

收稿日期: 2005-02-04; **修订日期:** 2005-08-21

作者简介: 韩梅(1964~), 女, 吉林长岭人, 博士, 副教授, 主要从事植物生态与资源保护研究. E-mail: hanmei77@sohu.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ylmh777@sohu.com

Foundation item: The project was supported by the State Key Basic Research and Development Plan of China (No. G1999043407) and the Opening Foundation of Key Laboratory for Ecological Restoration and Ecosystem Management of Jilin Province (No. DS2004-20).

Received date: 2005-02-04; **Accepted date:** 2005-08-21

Biography: HAN Mei, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in plant ecology and plant resources protect. E-mail: hanmei77@sohu.com

(NECT) as our study flat roof, we analysed the relations of plant photosynthetic function groups (C_3 and C_4 plants) and community biomass and environment changes in the grassland communities that *Leymus chinensis* is an edificatory of communities. Our sampling area are located in the steppe segment ($125^\circ \sim 115^\circ\text{E}$) of NECT using 43.5°N as middle axes. From east to west, they are in turn the Changchun agricultural area ($123^\circ \sim 125^\circ\text{E}$) in the center of Northeast China Plain, the meadow and meadow steppe area ($122^\circ \sim 124^\circ\text{E}$) in the south of Songnen Plain, the Kerqing sandlot steppe area ($119^\circ \sim 123^\circ\text{E}$) in the middle of Songliao Plain, the type steppe area ($113^\circ \sim 119^\circ\text{E}$) in the center of Inner Mongolia Altiplano and the desert steppe area ($108^\circ \sim 113^\circ\text{E}$) in the northeast of Ulanzabu Altiplano. All studied zone covered 1000km. Although our sampling area are basically a same latitude, but from east to west the sampling site is gradually elevatory in height above sea level (from 240m to 1480m) and is farther and farther from sea, hence the water and heat condition of sampling area is worse and worse. The maximal value of annual average temperature is 5.9°C of Tongliao weather station in Kerqing sandlot area, the minimal value is 1.1°C of Abaga weather station in the west of sampling area. The annual precipitation decreases gradually from 500 ~ 600mm of Changchun weather station locating in the east of studied zone to 200 ~ 300mm of Abaga weather station locating in the west of studied zone. From east to west, the annual precipitation has decreased 50%.

The studied results showed: the relation between C_4 plants biomass and 4 environment factors including to annual precipitation, annual average temperature, soil water percent and elevation was some marked valley type functions ($R^2 > 0.5$, $p < 0.05$), and the C_4 plants biomass was higher in the two end of aridity and saline-alkali habitat. Under grazing disturbance, C_3 plants biomass was evidently decreased, and C_4 plants biomass was evidently increased. The changes of C_3 and C_4 plants biomass were an redeeming mechanism for some ecological loss, therefore in maintaining ecosystem primary productivity, not only the different plant growth-form function groups played an important role, but also the plant photosynthetic function groups exerted an important influence. In ungrazing plats, the ratio of C_4 plant function groups biomass was only 12.82% of the total biomass of communities, but in grazing plats, it was increased to 42.49%. In the light of the variation of biomass, the variation coefficient of C_4 plants (1.10 under ungrazing, 0.66 under grazing) was bigger than that of C_3 plants (0.16 under ungrazing, 0.48 under grazing), hence the biomass of C_4 plant function groups was more evident in response to environmental changes than of C_3 plant function groups. In all samples, the discovered C_4 plant species were *Chloris virgata*, *Cleistogenes squarrosa*, *Arundinella hirta*, *Setaria lutescens*, *Kochia prostrata*, *Kochia sieversiana* and *Salsola collina*, of which *Chloris virgata*, *Arundinella hirta* and *Kochia sieversiana* distributed in the saline-alkali *Leymus chinensis* meadow community in the Songnen Plain, *Setaria lutescens* distributed in the sandlot habitat, *Salsola collina* appeared in the *Leymus chinensis* + *Stipa krilovii* community and in the sandlot habitat, *Kochia prostrata* appeared in the type steppe, meadow steppe and sandlot habitat, *Cleistogenes squarrosa* distributed in the all sampled plats except the severe saline-alkali habitat. Under grazing disturbance, *Cleistogenes squarrosa* as an edificator was composed of the grazing succession types of all studied communities not including severe saline-alkali habitat. On the basic of above analyses, we brought forward the conclusions below: (1) C_4 plants biomass had some complex and sensitive response to environment change and its variation coefficient was bigger, therefore the change of C_4 plant function groups could sensitively reflect the environment change; (2) the changes of C_3 and C_4 plants biomass had evident compensation, and in NECT, a number of C_4 plants were often discovered in some stress, for example in the arid or saline-alkali habitat; (3) C_4 plants species was fewer, only 7 species was appeared in the all studied communities, accounting for 9.72% of the total species, Hereby C_4 plants was fit for the fundamentals of plant functional groups conception. The above conclusions showed C_4 plants as an important plant function groups may be used to evaluate and forecast the change of the grassland vegetation or ecosystem in Chinese temperate zone.

Key words: Northeast China Transect (NECT); *Leymus chinensis* communities; C_3 and C_4 plant function groups; biomass; environmental change

陆地生态系统样带是国际地圈-生物圈计划(IGBP)的核心项目“全球变化与陆地生态系统(GCTE)”研究

中最引人注目的创新之一。它由分布在某种具有控制生态系统结构与功能的全球变化因素,如温度、降水(干燥度)和土地利强度等的梯度上较大范围(1000km 或更长,数百公里宽)内的一系列生态实验站、观测点和样地所构成,可开展一系列综合性的全球变化研究^[1]。中国东北样带是张新时于 1991 年提出和设定的,1993 年 8 月在美国 Marshall 召开的 IGBP 国际会议上报告了该样带的初步梯度分析,并正式定名该样带为 NECT,被列入 IGBP 陆地样带之一。该样带在东经 112 ~ 130°30' 之间沿北纬 43°30' 设置,全长约 1600km,是一条中纬度温带以降水为驱动因素的陆地样带,具有由温带针阔叶混交林向温带草原过渡的空间系列,涵盖了红松针阔混交林、蒙古栎林、草甸草原、典型草原、荒漠草原等地带性植被,以及由于人类土地利用影响带来的植被变化,如农田、放牧地、采伐地、人工林等次生或人工植被。该样带已成为我国全球变化综合性多学科研究的重要平台,除各定位生态实验站的长期研究以外,迄今已开展过 3 次综合性考察研究,本文即为第 3 次考察研究的一部分。

近年来,在全球变化研究中,国际地圈-生物圈计划(IGBP)和它的核心项目 GCTE 的一个长期目标是动态全球植被模型(DGVM)的发展。而 DGVM 的发展中,受限于人力、物力和财力使得在物种水平上的研究变得既不可能也无必要,需要以一个能够表现出特定功能的植物集合作为单元来进行研究。植物功能群的划分是从生态学的,而不是系统发育的角度来相互比较地对待不同地区的植物,从而削减了植物分类群的数量,解决了在物种水平上研究植被变化中受限于人力、物力和财力等难题^[2-5]。白永飞等^[6,7]研究了近 20a 锡林郭勒羊草草原和针茅草原植物生长型功能群生物量变化与群落生产力的关系,解释了典型草原生产力相对稳定的机制。植物光合类型是依据植物的光合中间产物——羧化酶种类及活性的不同,以及叶绿体维管束结构的差异,从而导致其光合途径和光合效率的差异划分的植物功能群,主要分为 C_3 、 C_4 和 CAM 3 种类型。目前的研究结果是绝大多数植物属 C_3 类型,除光合适温偏低外,未显出其他特殊的适应;而 C_4 植物仅占全球高等植物种数不到 0.005%,以其对高温、强光及干燥条件的光合适应,主要分布于热带和亚热带干燥地区;CAM 植物主要是景天科、凤梨科、兰科和仙人掌科植物分类群中,以对干燥环境的光合和形态的双重适应,主要分布于热带沙漠地区。因此,不同光合途径的植物种类,无论从叶片组织结构到生理功能,还是从生态适应到地理分布,均表现出对不同水、热、光环境的响应,是理想的植物功能群分类。 C_4 植物由于光合效率高及其生态适应特性而倍受研究者重视,我国学者报道了目前研究清楚的 C_4 植物名录^[8],开展了中国 C_4 植物地理分布^[9],东北草原 C_4 植物^[10]和内蒙古地区 C_4 植物的生态地理分布^[11]等研究,但多属于区域尺度 C_4 植物功能群分布或鉴定研究,尚缺乏大尺度定量分析。许多 C_4 植物生态学研究表明,其分布与热量条件和水分条件密切相关,并对高温、干旱、盐碱等逆境具有特殊适应^[11-16]。CAM 植物在研究区域内种类极少,仅有景天科瓦松属(*Orostachys*)的几个种类,但在研究样地中均未出现。为此,本研究重点分析了中国东北样带羊草(*Leymus chinensis*)群落的 C_3 和 C_4 植物生物量变化与环境因子的关系。旨在为采用植物光合类型功能群深入研究分析我国温带草地植被变化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域及其自然环境概况

本研究以中国东北样带(NECT)为平台,沿 NECT 的 43.5°N 中轴线,研究区域设在 125° ~ 115°E 间的温带草原段^[1]。2001 年随第 3 次 NECT 考察,重点研究了以羊草为建群种或共建种的羊草群落。样地区域由东至西,从东北平原中部的长春地区(123° ~ 125°E),向西经过松嫩平原的草甸草原区(122° ~ 124°E)、松辽平原科尔沁沙地草原区(119° ~ 123°E)、内蒙古高原典型草原区(113° ~ 119°E),最后到达乌兰察布高原东北部的荒漠草原区域(108° ~ 113°E)的边缘。该区域属温带半湿润、半干旱和干旱的大陆季风气候,四季分明,春季干旱多风少雨;夏季炎热多雨;秋季凉爽早霜;冬季寒冷少雪。根据多年的气象资料统计,1 月份温度最低,平均月温度在 -13.94 ~ -20.54℃;7 月份温度最高,平均月温度在 20.36 ~ 23.58℃之间。虽然研究样地基本处于同一纬度,但由东向西海拔高度的明显变化(从 240m 到 1448m),使整体热量状况自东向西呈减少的趋势,最高年均温度出现在科尔沁沙地地带,通辽站年均温度可达 5.9℃;而最低年均温度是最西部的阿旗站,年均温度

为 1.1°C 。降水是中国东北样带环境变化的主要驱动因子,本研究区域从东部的长春年降水量 $500 \sim 600\text{mm}$,到典型草原和荒漠草原边缘地区年降水量仅有 $200 \sim 300\text{mm}$,降水量减少了 50% 。土壤类型主要有黑土、黑钙土、盐碱化草甸土、风沙土和栗钙土。其中,黑钙土和黑土区域基本已开垦农田,在农田间残存具有一定面积和代表性的羊草群落片断;盐碱化草甸土在保护良好区域分布有大面积羊草草甸群落,但松嫩平原盐碱化达 50% 以上;风沙土区主要为榆树疏林,林下以羊草和大针茅 (*Stipa grandis*) 建群,但撂荒地或过牧区以蒿类 (*Artemisia* spp.)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*) 和蒺藜 (*Tribulus terrestris*) 为优势,沙化现象比较严重;栗钙土是典型的草原放牧区,羊草群落多以羊草与大针茅或与克氏针茅 (*S. krilovii*) 为共建种,由于过渡放牧,草原退化和沙化严重。土壤水分状况自东向西也呈明显递减趋势,但在研究区域西部的局部低洼地区也有羊草草甸群落发育。

1.2 样地设置、调查取样与数据分析

研究样地沿中国东北样带 43.5°N 中轴线,设在 $125^{\circ} \sim 115^{\circ}\text{E}$ 间的温带草原区域内,大约每个经度设 1 个样地,分为无放牧样地和放牧样地。无放牧或以割草利用的有 6 个样地,分别为长岭、双辽、巴林右旗(林东)、林西、嘎松山和阿巴嘎旗样地。放牧干扰的有 5 个样地,分别为长岭、通辽、林西、锡林浩特和阿巴嘎旗样地。野外调查于 2001 年 8 月 2 日到 8 月 8 日内完成。采用 $1 \times 1\text{m}^2$ 的样方调查记录植物种类、密度、生物量。采用 GPS 定位系统,确定样地的地理坐标和海拔高度。采用土壤水分分析仪测定样地土壤含水量。数据分析主要采用如下参数,收集样地临近气象站近 10a 的气象资料。

1.2.1 变异系数 用来分析样地间羊草群落 C_3 和 C_4 植物功能群生物量的变异程度:

$$C.V. = S/\bar{x}$$

式中, S 为样地间 C_3 和 C_4 植物功能群生物量标准差; $\bar{x}$ 为样地间 C_3 和 C_4 植物功能群生物量平均值。

1.2.2 相关系数 用来分析羊草群落生物量与 C_3 和 C_4 植物功能群生物量的相关性:

$$R = [\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})] / \sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}$$

式中, x 为 C_3 和 C_4 植物功能群生物量; $\bar{x}$ 为各样地 C_3 和 C_4 植物功能群生物量平均值; y 为群落总生物量; $\bar{y}$ 为各样地群落总生物量平均值。

2 结果与分析

2.1 C_3 和 C_4 植物功能群生物量与环境因子的关系

图 1 表明,6 个无牧样地中, C_3 植物生物量与 4 个环境因子的关系,除与土壤湿润度呈正直线关系外,与年均降水量、年均温度及海拔高度均呈钟形函数关系,即呈现相对中等环境水平 C_3 植物生物量最高,但是,拟合函数决策系数 (R^2) 均低于 0.5,说明拟合结果仅表现出变化趋势而不具有显著性。 C_4 植物生物量与 4 个环境因子的关系均呈显著的峪形函数规律 ($R^2 > 0.5, p < 0.05$),即在研究区域两端的干旱和盐湿生境中明显高于中间群落。起主要作用的 C_4 植物分别为,盐碱化生境中(长岭、双辽盐化羊草草甸样地)以虎尾草 (*Chloris virgata*) 为主,另外,野古草 (*Arundinella hirta*)、狗尾草 (*Setaria lutescens*) 和碱地肤 (*K. sieversiana*) 也起到一定作用。干旱生境中(阿旗羊草-克氏针茅样地)以糙隐子草和猪毛菜 (*Salsola* spp.) 为主,木地肤 (*Kochia prostrata*) 起到一定作用。

图 2 表明,5 个放牧样地中, C_3 和 C_4 植物生物量变化与 4 个环境因子的关系,分别呈显著的钟形函数和峪形函数趋势 ($R^2 > 0.5, p < 0.05$)。从植物生物量变化上看,在放牧干扰下, C_3 植物明显降低,而 C_4 植物明显增加,呈现出明显的补偿性调整。放牧导致环境趋于干旱化和盐碱化,使更适应干旱的糙隐子草、木地肤和更耐盐碱的虎尾草、碱地肤,以及既耐盐碱又耐干旱的猪毛菜等 C_4 植物在群落中的作用增强。说明在草地生态系统初级生产力稳定性机制中,不仅植物生长型功能群多样性起到重要作用^[6,7],而且植物光合类型功能群调节也是维持系统稳定性的重要机制。

2.2 C_3 和 C_4 植物功能群生物量与群落总生物量的关系

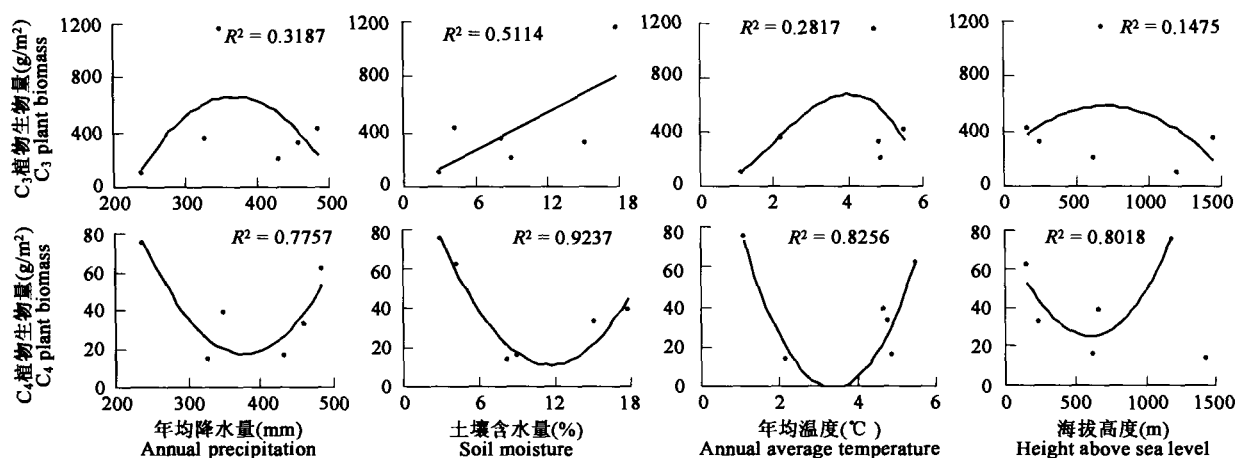
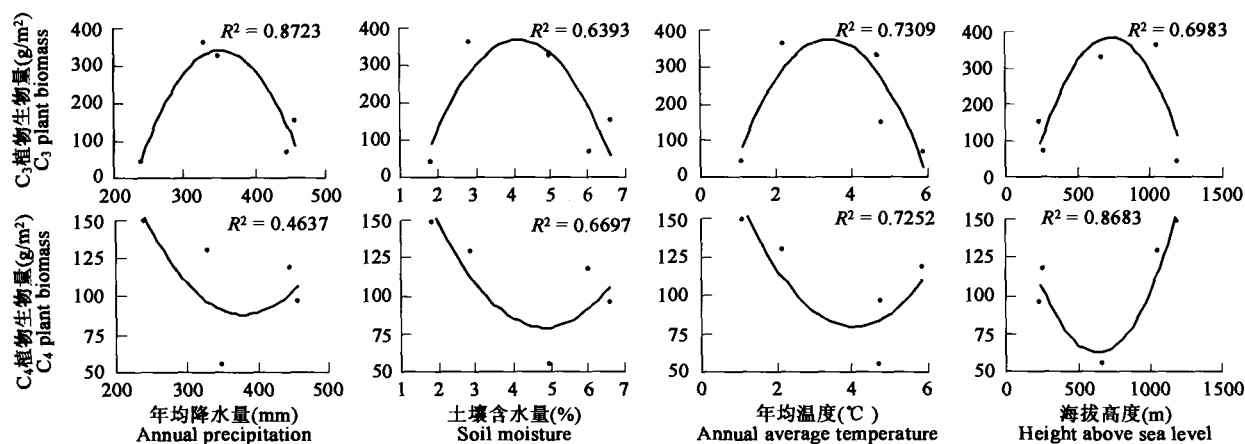
图 1 无放牧样地 C_3 和 C_4 植物功能群生物量与环境因子的关系Fig. 1 The relations between the biomass of C_3 and C_4 plant functional groups and environmental factors in ungrazing places图 2 放牧样地 C_3 和 C_4 植物功能群生物量与环境因子的关系Fig. 2 The relations between the biomass of C_3 and C_4 plant functional groups and environmental factors in grazing places

图 3a 和图 3c 表明, C_3 植物生物量与群落总生物量均呈显著的线性正相关关系, 其决策系数 R^2 均大于 0.9, 达到极显著水平 ($p < 0.01$)。 C_4 植物生物量与群落总生物量关系比较复杂, 在无牧样地中 (图 3b), 呈显著的钟形函数关系 ($R^2 = 0.6437$), 即 C_4 植物生物量处于中等水平时, 羊草群落总生物量最高。而在放牧样地中 (图 3d), 呈显著的线性负相关关系 ($R^2 = 0.6849$), 即 C_4 植物生物量在放牧干扰下增加, 而羊草群落总生物量降低。 C_3 和 C_4 植物生物量与群落总生物量关系的变化规律说明: C_4 植物生物量对环境变化的响应更具复杂性, 是我国温带草原上反映人类干扰或逆境条件的重要植物功能群。

2.3 C_3 和 C_4 植物功能群生物量占群落总生物量比例及其变异性

表 1 表明, 在无牧样地间, C_3 植物生物量占群落生物量比率均在 59% 以上, 平均为 87.18%; 而 C_4 植物生物量占群落生物量比率平均为 12.82%, 其中, 最干旱、最寒冷、且海拔高的阿旗样地 (羊草-克氏针茅群落) 达到 40.78%, 起主要作用的 C_4 植物是糙隐子草和 1 年生的猪毛菜。说明无牧条件下, 除干旱的阿旗样地外, C_4 植物占羊草群落总生物量比例较低。从 6 个无牧样地间 C_3 和 C_4 植物生物量变异系数看, C_4 植物变异性远高于 C_3 植物, 说明 C_4 植物生物量更能反映环境变化的差异性。

表 2 表明, 在放牧样地间, C_3 植物生物量占群落总生物量比率明显降低, 平均为 57.51%; 而 C_4 植物生物

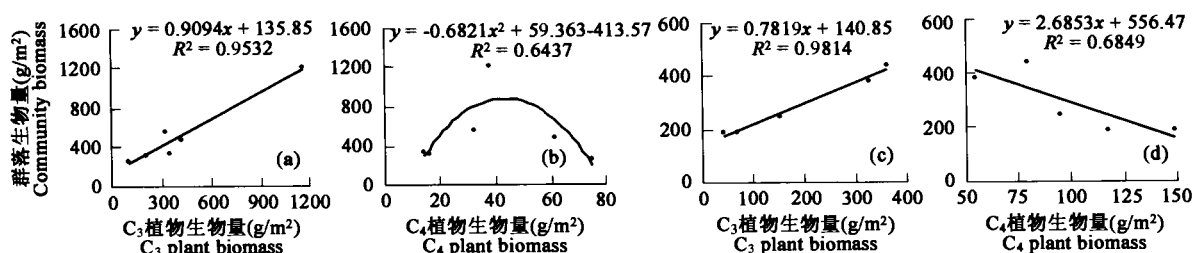


图 3 C₃ 和 C₄ 植物功能群生物量与群落总生物量的关系

Fig.3 The relations between the biomass of C₃ and C₄ plant functional groups and the total biomass of communities

(a), (b) 无牧样地 ungrazing places; (c), (d) 放牧样地 grazing places

量占群落生物量比率明显增加,平均为 42.49%。放牧样地和无牧样地位于同一地点,具有更大可比性的长岭样地(盐碱化羊草草甸群落)和阿旗样地(羊草-克氏针茅典型草原群落),与无牧样地相比(表 1),在放牧干扰下(表 2),其 C₄ 植物生物量占群落总生物量比率分别增加了 76.62% 和 47.9%。这些变化说明,C₄ 植物在适应放牧干扰逆境中,对 C₃ 植物生物量的减少起到了一定的补偿作用。从 5 个放牧样地间 C₃ 和 C₄ 植物生物量变异系数看,C₄ 植物变异性仍明显高于 C₃ 植物,加上其所占群落总生物量比率的增加,而更能反映样地间的差异性。

表 1 无牧样地 C₃ 和 C₄ 植物功能群生物量与群落总生物量关系及其变异系数

Table 1 The relations between the biomass of C₃ and C₄ plant functional groups and the total biomass of communities and their variance coefficient in ungrazing places

光合类型 Photosynthetic type	占群落总生物量比率 Ratio to the total biomass of communities (%)							相关系数 Correlation coefficient	变异系数 Variance coefficient
	长岭 Chanling	双辽 Suangliao	林东 Lindong	林西 Linxi	嘎松山 Gasongsan	阿旗 Abagqi	平均值 meat		
C ₃ 植物 C ₃ plants	90.92	87.15	92.93	96.79	96.07	59.22	87.18	0.99	0.16
C ₄ 植物 C ₄ plants	9.08	12.85	7.07	3.21	3.93	40.78	12.82	-0.03	1.10

表 2 放牧样地 C₃ 和 C₄ 植物功能群生物量与群落总生物量关系及其变异系数

Table 2 The relations between the biomass of C₃ and C₄ plant functional groups and the total biomass of communities and their variance coefficient in grazing places

光合类型 Photosynthetic type	占群落总生物量比率 Ratio to the total biomass of communities (%)						相关系数 Correlation coefficient	变异系数 Variance coefficient
	长岭 Chanling	通辽 Tongliao	林西 Linxi	锡林浩特 Xilinhaote	阿旗 Abagqi	平均值 Meat		
C ₃ 植物 C ₃ plants	61.17	36.98	85.64	82.05	21.72	57.51	0.99	0.48
C ₄ 植物 C ₄ plants	38.83	63.02	14.36	17.95	78.28	42.49	-0.83	0.66

3 结论与讨论

C₄ 植物与 C₃ 植物相比,具有低呼吸、低 CO₂ 补偿点、高光饱和点、高的净光合速率和光量子效率等特点,同是对水分、氮素、光及 CO₂ 利用效率均高于 C₃ 植物。在本研究区域内,有关研究重点分析了 C₄ 植物的物种组成特点^[9-11] 及其盐胁迫生理适应^[12],表明我国温带草原 C₄ 植物种数由东向西随干旱化程度加重呈增加趋势^[10,11],并且在土壤盐量较高的盐碱化地区,C₄ 植物比 C₃ 植物具有生理优势^[12]。植物生物量及其在群落中的比率状况是其生理生态机能的综合反映,也是植物及其生态系统对环境变化响应的生态后果最重要的表现参数。

本研究表明,在中国东北样带温带草原段以羊草为建群种或共建种的草地群落中,C₄ 植物生物量随环境干旱化和盐碱化程度的加重呈增加趋势,且在寒冷干旱的区域,占群落总生物量比率最高(在阿巴嘎旗样地中占 40.78%)。特别是在放牧干扰下,C₄ 植物生物量占群落总生物量比率明显增大,其中,次生盐碱化程度较高的长岭样地和干旱化程度较高的阿巴嘎旗样地分别增加了 29.75 和 37.5 个百分点。在 6 个无牧地和 5 个

放牧样地中,生境相似可比性较强的长岭、林西和阿巴嘎旗 3 个样区的无牧与放牧样地相比, C_4 生物量比率平均增加了 26.13 个百分点。这一研究结果说明,在我国温带草原区域, C_4 植物生物量不仅随着气候干旱化和土壤盐碱化呈增加趋势,而且在人类放牧活动影响下, C_4 植物仍然表现出较强的适应性,对草地生态系统生产力水平起到明显的补偿和稳定作用。

据报道,在本研究区域内, C_4 植物分布于 12 科,且主要分布在禾本科、莎草科和藜科 3 个科,分别约占 C_4 植物种数的 40.8%、11.2% 和 31.2%^[9~11],其中莎草科 C_4 植物主要是水生和湿生植物。本研究的 11 个样地中仅出现了 2 科 7 种 C_4 植物,占样地总植物种数的 9.72%,它们是禾本科的虎尾草、糙隐子草、野古草、狗尾草和藜科的猪毛菜、碱地肤、木地肤。虎尾草、碱地肤和野古草主要出现在松嫩平原和松辽平原的盐碱化草甸,其中,虎尾草和碱地肤为一年生植物,虎尾草为盐碱化草地建群种,是羊草草甸盐碱化退化形成的次生群落,局部区域碱地肤也有一定优势;狗尾草为 1 年生植物,主要出现在沙地生境,特别是羊草群落受到耕作或放牧干扰后,常与糙隐子草和菊科蒿类组成沙地扰动次生群落;猪毛菜主要出现在典型草原西段荒漠草原边缘及沙地生境,木地肤主要出现在典型草原和草甸草原及沙地生境,它们均在放牧干扰下组成次生群落或成为草原优势种;而糙隐子草除过度盐碱化区域外,在整个研究区域内均有分布,不仅是无牧样地的下层优势种,而且在放牧干扰下作用明显增强,甚至形成以糙隐子草为建群种的放牧演替类型^[17~19]。

通过从松嫩平原的长岭到内蒙古高原的阿巴嘎旗,对以羊草为建群种或共建种群落的 6 个无牧样地和 5 个放牧样地中 C_3 和 C_4 植物生物量与降水、温度、土壤湿润度和海拔高度等 4 个环境因子关系及其对人类放牧活动的响应,以及 C_3 和 C_4 植物生物量与群落总生物量关系及其变异性分析,结果表明, C_4 植物功能群生物量具有明显的变化规律,且变异性较高,物种数量少,对环境变化响应显著,在干旱化、盐碱化、放牧干扰和寒冷生境中表现出较强的适应性,并在环境变化中对 C_3 植物生物量起到明显的补偿作用。这些特点说明, C_4 植物可以考虑作为评估和预测我国温带草原植被(至少适合于以羊草为建群种的类型)及其生态系统变化的重要植物功能群,其中,从群落物种组成地位及其生物量对环境变化的响应结果上看,糙隐子草、虎尾草、猪毛菜和狗尾草等 C_4 植物最值得重视。

References:

- [1] Zhang X S, Gao Q, Yang D A, *et al.* A gradient analysis and prediction on the Northeast China Transect (NECT) for global change study. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39(9): 785 ~ 799.
- [2] Aguiar M R, Paruelo J M, Sala O E. Ecosystem responses to changes in plant functional type composition: An example from the Patagonian steppe. *Journal of Vegetation Science*, 1996, 7(2): 381 ~ 390.
- [3] Woodward F I, Cramer W. Plant functional types and climatic changes: Introduction. *Journal of Vegetation Science*, 1996, 7(2): 306 ~ 308.
- [4] Tang H P, Jiang G M. Plant functional type and its significance in ecological research. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 461 ~ 464.
- [5] Ni J. BIOME6000 Project: latest advances of reconstructing palaeobiome. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 465 ~ 471.
- [6] Bai Y F, Chen Z Z. Effects of long-term variability of plant species and functional groups on stability of a *Leymus chinensis* community in the Xilin River Basin, Inner Mongolia. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 641 ~ 647.
- [7] Bai Y F, Li L H, Huang J H, *et al.* The influence of plant diversity and functional Composition on Ecosystem stability of Four *Stipa* communities in the Inner Mongolia Plateau. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(3): 280 ~ 287.
- [8] Li M R. The list of C_4 photosynthetic plant. *Plant Physiology Communications*, 1993, 29(2): 148 ~ 159, 29(3): 221 ~ 240.
- [9] Yin L J, Li M R. A study on the geographic distribution and ecology of C_4 plants in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(4): 350 ~ 363.
- [10] Yin L J, Wang P. Distribution of C_3 and C_4 photosynthetic pathways of plants on the steppe of Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 113 ~ 123.
- [11] Tang H P, Liu S R, Zhang X S. The C_4 Plants in Inner Mongolia an Their Eco-geographical Characteristics. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(4): 420 ~ 424.
- [12] Wang P, Yin L J. The ecological distribution of C_3 and C_4 plants and their physiological characteristics on the steppe of Northeastern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(4): 407 ~ 411.

- [13] Hattersley P W. The distribution of C_3 and C_4 grasses in Australia in relation to climate. *Oecologia*, 1983, 57(1): 117 ~ 123.
- [14] Li M. Leaf photosynthetic nitrogen — use efficiency in C_3 and C_4 Cyperus species. *Photosynthetica*, 1993, 29(1): 117 ~ 130.
- [15] Takeda T, Tanikawa T, Agata W. Studies on the ecology and geographical distribution of C_3 and C_4 grasses. *Japanese Journal of Crop Science*, 1985, 54(4): 545 ~ 64.
- [16] Teeri J A, Stowe L G. Climatic patterns and the distribution of C_4 grasses in North America. *Oecologia*, 1976, 23(1): 1 ~ 12.
- [17] Yang C, Yie B. A comparative study on plant species diversity in different steppe formation. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMenggu*, 1994, 25(2): 209 ~ 214.
- [18] Yang L M, Wang R Z, Li J D. Effect of grazing disturbance gradient on plant diversity of main grassland communities in the Songnen Plain of China. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(1): 8 ~ 16.
- [19] Yang L M, Han M, Li J D. Division on degenerate successional stages of main grassland communities for grazing in the Songnen Plain of China. *Acta Agrestia Sinica*, 1996, 4(4): 281 ~ 287.

参考文献:

- [1] 张新时, 高琼, 杨莫安, 周广胜. 中国东北样带的梯度分析及其预测. *植物学报*, 1997, 39(9): 785 ~ 799.
- [4] 唐海萍, 蒋高明. 植物功能型及其生态学意义. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 461 ~ 464.
- [5] 倪健. BIOME6000 计划: 重建古生物群区的最新进展. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 465 ~ 471.
- [6] 白永飞, 陈佐忠. 锡林河流域羊草草原植物种群和功能群的长期变异性及其对群落稳定性的影响. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 641 ~ 647.
- [7] 白永飞, 李凌浩, 黄建辉, 陈佐忠. 内蒙古高原针茅草原植物多样性与植物功能群组成对群落初级生产力稳定性的影响. *植物学报*, 2001, 43(3): 280 ~ 287.
- [8] 李美荣. C_4 光合作用植物名录. *植物生理学通讯*, 1993, 29(2): 148 ~ 159, 29(3): 221 ~ 240.
- [9] 殷丽娟, 李美荣. 中国 C_4 植物的地理分布与生态学研究. *生态学报*, 1997, 17(4): 350 ~ 363.
- [10] 殷丽娟, 王萍. 中国东北草原植物中的 C_3 和 C_4 光合途径. *生态学报*, 1997, 17(2): 113 ~ 123.
- [11] 唐海萍, 刘书润, 张新时. 内蒙古地区的 C_4 植物及其生态地理特性的研究. *植物学报*, 1999, 41(4): 420 ~ 424.
- [12] 王萍, 殷丽娟, 李建东. 东北草原区 C_3 、 C_4 植物的生态分布及其适应盐碱环境的生理特性. *应用生态学报*, 1997, 8(4): 407 ~ 411.
- [17] 杨持, 叶波. 不同草原群系植物多样性比较研究. *内蒙古大学学报*, 1994, 25(2): 209 ~ 214.
- [18] 杨利民, 王仁忠, 李建东. 松嫩平原主要草原群落放牧干扰对植物多样性的影响. *草地学报*, 1999, 7(1): 8 ~ 16.
- [19] 杨利民, 韩梅, 李建东. 松嫩平原主要草地群落放牧退化演阶段的划分. *草地学报*, 1996, 4(4): 281 ~ 287.