附录I　草地生物多样性监测各指标的野外调研方法和数据获取途径
Appendix I　Indicators and methods for monitoring China grassland biodiversity

一、植物群落物种组成和多样性

1–3　植物群落的物种组成、相对多度及冠层盖度

调查时间和频度: 在植物生长旺盛期(6–8月)各地区打草之前进行调查; 每5年进行1次。

调查方法: 在每个调查样点, 首先按照正文中图1所示, 确定草本和灌木样方的中心点位置。然后以该点为中心设置1 m×1 m草本样方, 目测植物群落的冠层盖度, 记录样方内出现的所有植物物种的学名, 并对每个物种的株丛数、株丛大小(丛茎和分蘖数)、营养枝和生殖枝高度等几个指标进行测量和记录。如果调查样地内有灌木, 则须以每个中心点为圆心设置半径为5 m的灌木样方, 然后调查并记录样方内出现的所有灌木的种类、数量、冠幅和高度。植物的相对多度用密度或基于密度、高度、丛幅计算获得的综合优势度来表征。

注: (1)草本样方清查之前须对其进行拍照并命名存档, 以备后用; (2)如果样方的中心点恰好在灌木丛里, 草本样方的设置须做适当的调整, 可将其设置在离中心点最近的以草本植物为主的地方, 灌木样方仍以该点为中心, 无需调整; (3)丛生草本植物的丛径要从茎的基部测量, 其丛大小、高度以及灌木的冠幅、高度均选代表性植株进行测定。

4　种–面积关系

调查时间和频度: 与植物样方调查同步进行。

调查方法: 在每个调查样点, 首先按照图1所示, 以样地中心点为参照, 通过罗盘和测量绳的结合使用, 确定样点中心点外的另外两个种–面积调查中心点(与样地中心点的距离为45 m)的位置并做标记。然后, 以种–面积调查的中心点为圆心, 采取同心圆的方式对种–面积关系进行调查。此方法仍然基于巢式样方法(Bonham, 1989), 但为方便野外调查, 我们稍作调整, 以不断扩大同心圆直径的方式来增加调查面积。具体的调查面积仍然与巢式样方取样面积相对应, 分别为2^0、2^1、2^2、…、2^{10} m^2。在此基础上, 按照巢式样方调查面积扩增原则, 我们新增了4个更小的调查面积, 分别为2^{-1}、2^{-2}、2^{-3}、2^{-4} m^2。野外观测时, 我们以事先在测量绳上长度为0.1410、0.1995、0.2821、0.3989、0.5642、0.7979、1.1284、1.5958、2.2568、3.1915、4.5135、6.3831、9.0270、12.7662、18.0541 m处做好明显标记, 然后以测量绳为半径, 以种–面积调查中心点为圆心, 调查并记录随半径增加新增调查面积内出现的所有新物种。

5　物种的点格局分析

调查时间和频度: 与植物样方调查同步进行。

调查方法: 在每个种–面积关系调查中心点的附近设置1个正南正北的2.5 m×2.5 m点格局调查样方。将事先制作的进行了25等分的2.5 m×2.5 m样方框置于草本植物之上, 调整框的四角使其四边分别指向东南西北四个方向, 并固定好框的四角, 然后从西南角的0.5 m×0.5 m样方开始拍照, 依次向东拍摄, 到最后一个样方后, 从其上方折返向西拍摄, 依次类推, 对25个0.5 m×0.5 m的样方进行拍照存档。每个样地设置3个点格局分析样方, 野外拍摄时从北边的样方开始, 然后是中间的样方, 最后是南边的样方, 以确保照片的编号不会出错。

注: (1)拍摄的照片需要进行植物物种的鉴定和空间位置读取等后期工作, 因此照片一定要足够清晰; (2)拍摄时从样方的正上方垂直拍摄, 要避免拍摄者的阴影出现在所拍摄的样方内; (3) 当天获取的照片数据要当天导入电脑并整理编号[样地号+空间位置(北、中、南)+照片编号(1–25, 起始于西南角的一张为1, 然后按照拍照顺序依次类推)], 以一个样地一个文件夹的方式存档。

格局照片数据提取方法: 植物坐标位置的提取使用AutoCAD2004软件完成。(1)首先将拍摄的照片以光栅图像格式导入到软件中, 将左下角定为插入点, 并且以1:1的大小插入图片; (2)将图片调整至适合窗口大小, 通过UCS命令把坐标原点重新定位到样方的左下角; (3)通过功能栏中的坐标位置标注功能, 对植物的空间位置进行确定, 标注时以植物的

中心位置作为其坐标; (4) 最后, 通过输出功能将所有标注的X、Y坐标值导出到Excel表格中, 进行后续的数据分析。

点格局分析方法: 主要是通过Programita软件完成(Wiegand & Moloney, 2004)。采用软件中的*O-ring O(t)*函数进行统计分析, 这种方法可以消除*Ripley K(t)*函数分析方法中存在的积累效应(Ripley, 1981), 理论上可以提高格局分析的精确度。

针对种群分布格局分析, 其定义式为:

$$O(t) = \lambda g(t) \quad (1)$$

其中, $g(t) = \frac{dK(t)}{dt} / 2\pi(t)$。在完全随机的情况下 $O(t) = \lambda$; 若 $O(t) > \lambda$, 表示空间聚集; 而当 $O(t) < \lambda$ 时, 表示空间均匀分布。

针对种间或种内关系分析, 其定义式为:

$$O_{12}(t) = \lambda_2 g_{12}(t) \quad (2)$$

其中, $g_{12}(t) = \frac{dK_{12}(t)}{dt} / 2\pi(t)$。若 $O_{12}(t) = \lambda_2$, 说明两个种在该尺度下无关联; 若 $O_{12}(t) > \lambda_2$, 表明二者正关联; 当 $O_{12}(t) < \lambda_2$ 时, 表明二者负关联。

6 植物功能性状

调查时间和频度: 与植物样方调查同步进行。

调查指标和方法: 植物功能性状数据获取包括两部分: 一部分是野外直接测定, 包括植株高度、茎叶比、比叶面积、单叶重、单叶面积、叶干物质含量、叶氮含量、叶磷含量、叶型(周长/面积比); 另一部分通过文献查阅获取, 包括生长型、生活史策略(多年生/一二年生)、光合途径(C_3/C_4/CAM)、固氮能力(有或无)、克隆生长特性、根系结构(须根或轴根)和子叶类型(单子叶或双子叶)。

植物功能性状测定集中在样地尺度上进行。在每个调查点随机选取优势种和常见种个体30个, 贴地面剪取每个植株的地上部分, 然后卷入湿毛巾放置到冷藏箱内以转移到室内进行处理。内业人员将取回的植物样品在室内逐个进行茎叶分拣、叶片图像扫描, 并称量鲜重、烘干(60°C, 24 h)称干重并做记录。称完干重的样品以物种为单位混合为一个样品, 并将每种植物的茎叶分装到信封内保存, 以备后期进行植物氮磷元素含量的测定。为保证空间取样范围的一致性, 植物性状测定的个体分别集中在种–面积和点格局测定的3个点上进行, 每个点剪取10个个体。叶片性状测定可参考Cornelissen等(2003)编写的植物功能性状测定手册。

注: (1)用于功能性状测定的植株需区分营养株和繁殖株, 因为二者的茎叶比有极大差异, 另外, 对繁殖株所处的物候期要单独记录; (2)进行植物干物质含量测定时须保证植物吸水时间不少于6 h, 以确保植物叶片达到水分饱和; (3)因植物叶片存在叶龄差异, 建议将叶片简单分为幼叶、绿叶(最上部充分展开叶到最下部全绿叶)、老叶(部分干枯的叶片)、枯叶(完全干枯的叶片)4个龄组; 绿叶用于叶面积测定; 各部分叶片须单独计数、称重、分装, 以备后期单独进行元素含量测定。

7 植物种库

调查时间和频度: 与植物样方调查同步进行。

调查方法: 在每个调查样点, 首先按照图1所示, 以样地中心点为参照, 通过罗盘和测量绳确定东南西北4个方向上的4条250 m样线, 每隔25 m插1根标杆。然后从中心点开始调查, 并记录每条样线上左右5 m范围内出现的所有植物物种, 按0–50 m、50–100 m、100–150 m、150–200 m、200–250 m分段记录数据。

注: (1)当调查样地有明显地形起伏时, 要对样线的方向进行调整, 确保有一条样线沿坡面布设; (2)样带调查的主要目的是进行景观尺度上种库的调查, 因此如果发现样带调查范围外(5 m外)有新植物种出现也须记录。

8 植物多样性

数据获取方法: 基于群落清查数据计算获得。植物多样性包括物种多样性、功能多样性、谱系多样性3个方面。

(1)物种多样性。包括物种丰富度、均匀度、综合多样性指数、α、β和γ多样性。物种丰富度(*S*)即为群落清查样方中出现的植物物种的总数。物种均匀度(*E*)以Pielou均匀度指数(Pielou, 1975)表征, 物种多样性以Shannon-Wiener多样性指数(*H*)表征。α多样性等于特定空间范围内所有调查样方的物种丰富度的均值, γ多样性为这些样方内所出现的所有不同物种的总和, β多样性等于γ/α或者γ–α。

Pielou均匀度指数和Shannon-Wiener多样性指数的计算公式分别如下:

$$E = H / Ln(S) \quad (3)$$

$$H = -\sum_{i=1}^{S} P_i Ln(P_i) \quad (4)$$

式中，其中 $P_i = \frac{N_i}{N}$，为样区内第i类植物的个体数(N_i)与群落所有植物的总个体数量(N)的比值(Shannon, 1948; 马克平和刘玉明, 1994)。

(2)功能多样性。目前关于物种功能多样性的指标众多，按测度的方法大致可以归为3类：基于植物功能性状数值(trait values)的功能多样性直接测度；基于距离矩阵(distance matrix)的功能多样性测度；基于功能系统树(functional dendrogram)的功能多样性测度(Petchey *et al.*, 2009)。基于样方调查数据和植物功能性状数据，通过免费开源软件Fdiversity可以很方便快捷地实现对各类功能多样性指标的计算，具体计算方法请参考文献Casanoves等(2011)。

(3)谱系多样性。谱系多样性整合了物种的进化信息，其值等于群落内物种间的谱系距离总和(Srivastava *et al.*, 2012)。谱系多样性常用的指数有：谱系α多样性(群落内进化亲缘关系)、谱系β多样性(群落间进化亲缘关系)、谱系丰富度和谱系均匀度等(Kembel *et al.*, 2010)。计算时，首先根据被子植物分类系统，对物种名称进行核对和正确分类(Bremer *et al.*, 2009)；其次，将核对好的植物名称以科/属/种的顺序排列，通过在线Phylomatic软件(http://phylodiversity.net/phylomatic/ html/pm2_form.html)生成相关物种的谱系树；然后，通过Phylocom软件中的BLADJ运算模块，对已生成的谱系树的进化枝长进行估算(Webb *et al.*, 2008)；最后，将带有进化枝长估算的谱系树，导入R软件，通过picante包可计算出谱系α多样性、谱系β多样性(Kembel *et al.*, 2010)。

二、生态系统健康及关键生态系统功能

9 哺乳动物多样性

调查方法：哺乳动物多样性拟通过红外相机陷阱(camera trapping)法和社会调研两种方法进行调查。红外相机陷阱法是目前大型哺乳类动物种类和数量的监测中较为先进的方法(Yasuda, 2004)。但由于相机在野外比较容易丢失，使用该方法进行哺乳动物多样性监测局限于管理较好的草地自然保护区内。保护区内红外相机的具体设置方法可参考文献Yasuda(2004)。由于红外相机一旦装好后，只需定期取数据和更换电池，因此调查的时间和频度可根据实际情况进行调整。原则上，监测时间越连续，监测数据越可靠，价值越高。

社会调研与野外样地考察可结合进行，主要是针对珍稀、濒危、受威胁的保护动物的有无进行问卷调查。在每个植物多样性调查样点周边按照不同年龄段(20、30、…、70岁)，每个年龄段选取1–3个当地牧户作为社调对象。然后通过问卷的方式，了解当地在不同时间段上大型野生哺乳动物的种类和丰富度的状况。

10 微生物多样性

调查时间和频度：与植物样方调查同步取样。

调查方法：用于土壤微生物多样性测定的土壤样品在1 ha样地内的4个植物样方中采集。为增加样品的代表性，每个样方内用土钻，钻取0–10 cm、10–20 cm、20–40 cm 3个土层，每个土层取5钻土壤样品。将每层的5钻土样充分混匀，利用4分法取出足量样品放置于冷藏箱转运到实验室冷冻保存，以备后期土壤微生物多样性测定。

微生物多样性测定采用目前最为先进的宏基因组学(metagenomics)方法，从土壤样品中提取基因组DNA，通过第二代高通量测序技术直接对土壤样品中所提取出来的基因片段进行测序分析。然后，将所得序列(通常为16S/18S rRNA等兼具保守及高变特性的序列)与专业数据库(Silva、RDP等)进行比对，得出样品中所含物种的信息，并通过对所得序列(通常为16S/18S rRNA等兼具保守及高变特性的序列)进行进一步的聚类，得到相应的分类操作单元(OTUs)。OTUs的数量即为微生物多样性的表征指标。具体的土壤样品DNA提取和基因序列的分析方法参见Delmont等(2011)。

11 昆虫多样性

调查时间和频度：与植物多样性调查同步。

调查指标和方法：昆虫多样性调查分为两部分：一部分与蝗虫数量的调查相结合进行，另一部

分专门针对步甲进行调查。与蝗虫数量调查相结合的部分将在蝗灾状况调查中进行详述，这里仅介绍步甲的野外取样调查方法。地栖型鞘翅目步甲的种类和数量的调查采用常规的陷阱诱捕法(Greenslade, 1964)，调查范围在样地(1 ha)尺度上进行。野外调查时在东南西北4条样线的5 m、15 m、25 m、35 m、45 m处，将高10.4 cm、口径7 cm的玻璃罐头瓶埋入地表下，瓶口与地面齐平。24 h后收集玻璃罐头瓶中诱捕到的步甲并带回驻地进行种类鉴定和数量统计并记录。为防止小型哺乳动物和两栖动物掉入陷阱，可在瓶口覆盖具13 mm×20 mm筛眼的筛网。

12 鸟类的多样性

调查时间和频度：与植物多样性调查同步。

调查方法：繁殖鸟类的种类和数量调查采用样带法，具体方法参考英国环境变化监测网络关于鸟类监测的草案(UK-ECN Birds Portocols)和北美繁殖鸟类监测网络(North American Breeding Birds Survey)的鸟类监测的方法体系。野外观测时，沿东西南北4条250 m样线，以均匀的步速，识别和记录所有看到和听到的鸟类的种类和数量。野外观测须对每条样线调查的起止时间、发现鸟类时观测者所处样线的位置以及鸟类距离观测者的距离等信息进行记录。4条样线的总调查时间应控制在1 h左右。鸟类距观测者距离分为4个类别：25 m范围内、25–100 m范围内、100 m以外以及飞行中的鸟类。

13 蝴蝶的多样性

调查时间和频度：与植物多样性调查同步。

调查方法：蝴蝶多样性的调查同样采取样带法，参考英国蝴蝶多样性监测方案(United Kingdom Butterfly Monitoring Scheme)和英国环境变化监测网络(UK-Environmental Change Network)确立的蝴蝶监测草案。野外观测时，沿东南西北4条样线，按照0–50 m、50–100 m、100–150 m、150–200 m、200–250 m分段记录样线左右各5 m范围内出现的所有蝴蝶种类和数量，以及发现蝴蝶时观测者所处的样线位置和蝴蝶距离样线的垂直距离。每条样线的调查时间控制在15 min左右，4条样线合计控制在60–90 min内。无法直接识别的蝴蝶可先用捕网抓捕，对照蝴蝶图鉴进行种类鉴定。另外，野外观测时需对每条样线调查的起始时间进行记录。

14 蝗灾的状况

调查时间和频度：与蝴蝶多样性调查同步。

调查指标和方法：蝗虫的种类繁多，并且不同种类有很明显的时间上的生态位分化，在单个时间点上捕获的蝗虫通常是很多不同龄期的混合体，种类难以鉴定。因此，我们建议蝗灾的状况仅以蝗虫的数量来表征，野外调查仅对不同龄期蝗虫的数量进行调查和分析，不进行种类鉴定。在蝗虫数量调查的同时进行昆虫多样性调查。

蝗虫数量和昆虫多样性的调查采取扫网法，在样地尺度的4条50 m样线上，每条样线上两步扫一网(一个往复)，合计扫25网。将搜集到的所有昆虫装到带有编号的网袋中置于工业酒精中暂存。回到驻地后，将当天扫集到的昆虫样品进行处理，分离出所有蝗虫，按龄期计数并记录，其他类型昆虫仅记录种类，不进行数量统计。无法识别的昆虫通过装有甲醛的塑管进行保存，留待后期鉴定。

注：(1)标准扫网直径为33 cm，洞口到网底为66 cm，网眼40目，手柄长1.2 m；(2)为避免植物调查人员对昆虫取样的干扰，扫网操作可偏离样线一定距离(建议10 m左右)，但平行于样线进行。

15 鼠害的状况

调查时间和频度：与植物种库调查同步进行。

调查指标和方法：鼠害的状况这里采用鼠洞和土丘的数量进行表征。调查按照500 m×500 m的景观尺度，方法为基于样带的土丘和洞口统计法。土丘和洞口的计数调查与植物物种种库样线调查相结合进行：从样地中心点出发到样线终点的过程中进行植物物种的调查，从终点返回时按照与植物调查相同的分段(0–50 m、50–100 m、100–150 m、150–200 m、200–250 m)分别进行洞口和土丘数量的统计和记录。土丘和洞口调查的样带宽度为10 m，沿样线左右各5 m。

16 净初级生产力

调查时间和频度：调查时间为生物量高峰期，具体时间根据各调查样地的实际情况确定，调查频度应与多样性调查一致。

调查指标和方法：净初级生产力分为地上和地下两部分。鉴于生产力指标野外测定相对困难，仅在样地尺度上进行。地上净初级生产力(ANPP)在无放牧样地，其值等于生物量高峰期的群落地上总生物量；在有放牧的情况下，其值等于家畜采食量+

地上牧草现存量，家畜采食量通过移动围栏法进行测定，具体测定方法可参考McNaughton等(1996)。地上生物量的调查采取1 m×1 m的样方法，每个样地设置5个样方，其中4个与多样性调查样方一致，另外一个设置在样地的中心点。植物地下净初级生产力的测定采取改进的内生长法，在生长季初期先用直径10 cm的根钻，按照0–10 cm，10–20 cm，20–40 cm，40–60 cm和60–100 cm取出土壤，移除根系后，将土壤按层次回填，并标记好根钻的准确位置。生长季末期，用直径7 cm的根钻，在10 cm旧根钻中心按照0–10 cm，10–20 cm，20–40 cm，40–60 cm和60–100 cm取出土壤，拣出新增根系后回填。生长季末期所获取的植物根系数据即为当季的净地下初级生产力(BNPP)。BNPP的测定样点与ANPP样点应保持一致。植物根系的空间异质性很大，为增加取样的代表性，减少数据间的变异，建议每个取样点增加根钻取样的重复。重复数的设置可参考Taylor等(2013)。

17 土壤碳、氮、磷储量

调查时间和频度：在生物量高峰期进行取样调查，每5年调查一次。

调查指标和方法：碳、氮、磷储量包括地上生物量、地下生物量、凋落物量和土壤总碳、氮、磷几部分。地上生物量、地下生物量、凋落物量的调查可与ANPP、BNPP的调查结合进行，其值等于每块样地的地上、地下(0–100 cm)根系及凋落物的现存量。通过样方法和根钻法一次测定即可获取这几个参数，测量重复数与生产力测定相同。用于植物地下生物量测定的土壤根钻样品，过2 mm筛后的土壤风干后用于土壤总碳、氮、磷的测定；根系和砾石部分水洗后分开，烘干后测定根系和砾石重量。所有植物、土壤样品烘干称重后带回实验室粉碎并进行碳、氮、磷含量的测定。土壤容重是进行土壤碳储量计算必须的系数，应在每个样地进行一次测定。测量的方法采用常规的环刀法，每个样地重复5次，取样点位置及测定土层分类与土壤碳、氮、磷含量测定保持一致。

18 水土保持力

调查指标和方法：水土保持能力以植被盖度、裸地面积、凋落物量和地上生物量几个间接指标来表征。这些指标的测定方法参照前文相应介绍。

此外，还有两个用来表征草地水土保持能力的间接指标，分别是归一化植被指数(NDVI)和积雪覆盖度。这两个指标可以通过遥感数据的分析获取。为提高样地间的可比性，用于NDVI计算的遥感数据要尽量保持时间上的同步性。考虑到植被地上生物量空间分布格局最明显的时间段应该在植物生长旺盛期，因此建议最好采用这个时期的遥感数据进行NDVI的计算。积雪覆盖度的遥感分析则以融雪初期的遥感影像数据为最佳，因为这个时候雪层较薄的地方冬雪已融化，而雪层较厚的地方还留有积雪，通过遥感影像可以清晰地分辨出草地的积雪覆盖状况。根据积雪覆盖状况我们可以进一步对每个观测样地的固雪能力进行评估。

19 地下水供给

调查时间和频度：与哺乳动物多样性社会调研同步进行。

调查指标和方法：地下水的供给状况以地下水的水位和水质两个指标来表征。在进行社调的居民点选取饮水井2–3个，进行地下水水位的测量，并取井水样带回实验室进行水质分析。如果调查居民点有用于农田灌溉的机井，需额外选取2–3个机井进行地下水水位的测量和井水取样。

三、气候、土壤、地质历史环境和人类活动干扰

20–21 气象因子和其他环境变化因子

年均降水量、年均气温、年潜在蒸散量、年实际蒸散量、年总太阳辐射、年光和有效辐射、CO_2分压、氮沉降量、酸沉降量等气象和环境指标可通过多样性监测样地附近(几公里范围内)的气象监测站直接获取，如附近无气象站则通过模型插值计算获得。

22 土壤理化性质

土壤类型数据可通过文献查阅获得；土壤质地、酸碱度(pH)、有机质含量、持水量几个指标通

过对各个样地所取的土壤样品进行室内测定分析获得。各指标的测定方法参考Paul (2007)。

23 地形因素

地形因素主要测定坡向、坡度、地表起伏度和地表粗糙度，这几个指标对与植物生长密切相关的水分、养分、温度和光照条件都会造成不同程度的影响，进而影响植物群落的空间结构和多样性。具体数据可基于ASTER GDEM(Version 2, released at 2011.10.03)通过ArcGIS计算获得。

24 土地利用

土地利用类型、土地利用强度、土地利用历史是影响草地生物多样性和生态系统功能的3个关键指标。这些指标的数据获取途径主要有4种: (1)社会调研，即通过对调查样地归属者的问卷调查获取相关数据; (2)遥感影像分析，即通过对每个监测样地时间序列上植被状况、牧民住房建筑面积等指标的变化来判断土地利用的类型和强度，进而反演样地的土地利用历史; (3)野外观测，即通过调查样地的牧草采食情况、有无家畜粪便及其密度判断调查样地是否存在放牧、放牧的类型及强度。家畜粪便密度的调查与草本灌木样方的调查结合进行，羊粪密度的调查在1 m×1 m的草本样方中进行，马、牛等大型家畜的粪便密度调查在直径为10 m的灌木样方中进行; (4)通过草地监测部门发布的年鉴及草地资源类文献资料的检索获取不同级别行政单元内的土地利用状况信息。

25 社会经济因素

社会经济发展的需要是草地开发利用的主要驱动力因素，本方案拟对监测样地附近居民的数量、经济来源和人均收入水平等几个社会经济指标进行调研。社会调研方法、时间和频度与本监测方案涉及到其他调研指标(例如哺乳类动物多样性)同步进行。另外较大的空间尺度上(例如以行政单元区划为基本调查单位)的社会经济指标可通过检索年鉴等统计资料获得。

26 景观因素

人类活动干扰除直接影响草地生态系统结构和功能外，其造成的生境破碎化会进一步对草地生物多样性及其他生态系统服务功能造成影响(Saunders *et al.*, 1991; Fahrig, 2003)。因此本方案将生境破碎化程度作为一个重要的景观因素进行监测和分析，以帮助我们更好地分析我国草地生物多样性变化的驱动机制。随着景观生态学发展，目前关于生境破碎化的分析技术已经比较成熟。本研究方案计划利用我国现有的最新的植被类型图及土地利用类型图，通过空间分析软件包FRAGSTATS，对区域尺度的生境破碎化程度进行量化分析。FRAGSTATS 的详细介绍可参考网页www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html。

27 地史进化因素

关于草地生物多样性现有格局的形成和维持机制有现代成因和历史成因两类假说，前者强调现代环境因素的作用，而后者着重强调地质和进化史的作用(Gaston, 2000; Mittelbach *et al.*, 2007)。因此，除对 20–26 几个现代环境因子进行调查外，本方案计划通过对我国草地地质和进化历史方面已有研究资料进行的检索和整理，探索和揭示地史和进化因素在我国草地生物多样性格局的形成和维持中的作用。

参考文献

Bonham CD (1989) *Measurements for Terrestrial Vegetation*. John Wiley & Son, New York.

Bremer B, Bremer K, Chase MW, Fay MF, Reveal JL, Soltis DE, Soltis PS, Stevens PF, Anderberg AA, Moore MJ, Olmstead RG, Rudall PJ, Sytsma KJ, Tank DC, Wurdack K, Xiang JQY, Zmarzty S (2009) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **161**, 105–121.

Casanoves F, Pla L, Di Rienzo JA, Díaz S (2011) FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, **2**, 233–237.

Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, ter Steege H, Morgan HD, van der Heijden MGA, Pausas JG, Poorter H (2003) A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, **51**, 335–380.

Delmont TO, Robe P, Cecillon S, Clark IM, Constancias F, Simonet P, Hirsch PR, Vogel TM (2011) Accessing the soil metagenome for studies of microbial diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, **77**, 1315–1324.

Fahrig L (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, **34**, 487–515.

Greenslade PJM (1964) Pitfall Trapping as a method for studying populations of Carabidae (Coleoptera). *Journal of Animal Ecology*, **33**, 301–310.

Kembel SW, Cowan PD, Helmus MR, Cornwell WK, Morlon

H, Ackerly DD, Blomberg SP, Webb CO (2010) Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics*, **26**, 1463–1464.

Ma KP (马克平), Liu YM (刘玉明) (1994) Quantifying biodiversity I: measurement of alpha diversity (part 2). *Chinese Biodiversiy* (生物多样性), **2**, 231–239. (in Chinese)

McNaughton SJ, Milchunas DG, Frank DA (1996) How can net primary productivity be measured in grazing ecosystems? *Ecology*, **77**, 974–977.

Mittelbach GG, Schemske DW, Cornell HV, Allen AP, Brown JM, Bush MB, Harrison SP, Hurlbert AH, Knowlton N, Lessios HA, McCain CM, McCune AR, McDade LA, McPeek MA, Near TJ, Price TD, Ricklefs RE, Roy K, Sax DF, Schluter D, Sobel JM, Turelli M (2007) Evolution and the latitudinal diversity gradient: speciation, extinction and biogeography. *Ecology Letters*, **10**, 315–331.

Paul EA (2007) *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, 3rd edn. Academic Press, Oxford.

Petchey OL, O'Gorman E, Flynn DFB (2009) A functional guide to functional diversity measures. In: *Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing* (eds Naeem S, Bunker DE, Hector A, Loreau M, Perrings C). Oxford University Press, Oxford.

Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*. Wiley, New York.

Ripley BD (1981) *Spatial Statistics*. John Wiley & Sons, Incorporated, New York.

Saunders DA, Hobbs RJ, Margules CR (1991) Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, **5**, 18–32.

Shannon CE (1948) A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, **27**, 623–656.

Srivastava DS, Cadotte MW, MacDonald AAM, Marushia RG, Mirotchnick N (2012) Phylogenetic diversity and the functioning of ecosystems. *Ecology Letters*, **15**, 637–648.

Taylor BN, Beidler KV, Cooper ER, Strand AE, Pritchard SG (2013) Sampling volume in root studies: the pitfalls of under-sampling exposed using accumulation curves. *Ecology Letters*, **16**, 862–869.

Webb CO, Ackerly DD, Kembel SW (2008) Phylocom: software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. *Bioinformatics*, **24**, 2098–2100.

Wiegand T, Moloney KA (2004) Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos*, **104**, 209–229.

Yasuda M (2004) Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: a case study on Mount Tsukuba, central Japan. *Mammal Study*, **29**, 37–46.

(责任编辑: 周玉荣)