

金沙江干旱河谷退化草地群落对氮磷施肥的反应*

张彦东^{1,2} 沈有信² 刘文耀²

(1. 东北林业大学森林资源与环境学院, 哈尔滨 150040)

(2. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘 要 在云南省境内的金沙江干旱河谷区, 选择退化严重的草地群落研究氮磷施肥对群落动态的影响。经过一个生长季的施肥处理, 结果表明, 除大量施磷肥处理($20 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)时, 可能因施磷过多群落生物量和密度没有出现增加外。其余的施氮和施磷处理均导致群落地上生物量和密度增加, 而且施氮处理引起群落地上生物量和密度增加的程度都高于施磷处理。说明在干旱河谷退化严重的草地生态系统, 氮是限制系统恢复的主要因素。施肥后禾本科草本植物密度大量增加, 而乔灌木密度增加不明显, 群落在短期内变成以禾本科草本植物为主的状态。施氮和施磷没有引起群落种数量和植物多样性指数的明显变化。试验结束时土壤的铵态氮、硝态氮和有效磷浓度没因施肥而增加, 但施肥处理的植物体氮和磷浓度增加。

关键词 干旱河谷; 氮磷肥; 草地群落; 金沙江; 植物多样性

**Fertilization effects of N、P on a grass community
at the dryvalley of Jinsha River**ZHANG Yan-Dong^{1,2} SHEN You-Xin² LIU Wen-Yao²

(1. School of Forest Resource and Environments, Northeast Forestry University, Harbin 150040)

(2. Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223)

Abstract At the dry valley along Jinsha River, a highly degraded grass community was selected to determine the effect of N、P fertilization on community dynamics. After one growing season of N and P application, the results showed that the above ground biomass and species density increased except the one with the highest P ($20 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) treatment, and the increases caused by N applications were greater than that of P applications, therefore N was the limiting factors for the restoration of community. After the treatment, the density of Gramineae species increased sharply, but that of tree and shrub species did not increase significantly, so we can conclude that the community has become Gramineae dominant within the short term. Both N and P treatment did not caused significant changes in species type and diversity. Up to the end of treatment, NH_4^+ 、 NO_3^- and available P in the soil did not increase with the application of N、P, but the content of N and P in the biomass increased.

Key words dry valley; N and P fertilization; grass community; Jinsha River; biodiversity

由于不同植物种在养分吸收和利用效率上存在差异, 土壤养分状态的改变将影响植物种在群落

* 中国科学院特别支持项目: 册地灾害——泥石流、滑坡防治研究。

第一作者简介: 张彦东(1974-), 男, 博士研究生, 主要从事植物生态学及造林学研究。

收稿日期: 2003-02-06

中的关系,从而引起植物群落组成、结构和生产力等特性发生变化^[1]。土壤限制养分的增加,对植物群落特性的影响更加明显^[2]。大量研究表明,植物群落限制资源的增加可以导致群落生产力的增加、植物多样性和密度的下降^[3~5]。还有一些研究认为,土壤养分的增加虽然可以提高群落的生产力,但对群落植物种的多样性和密度无显著影响^[6~8],在有些情况下可能还会引起植物多样性和密度的增加^[9]。了解土壤养分变化对植物群落动态的影响规律,对于科学地管理生态系统具有重要的意义。尤其在严重退化的生态系统中,认识这一规律,可为退化生态系统的恢复提供理论依据。

在金沙江沿岸的河谷区,由于受特殊的地貌条件影响形成了以干和热为特点的干旱河谷。因受人为因素的长期影响,干旱河谷的植被已经严重退化,现存植被以草丛和灌草丛为主^[10],加之该区山高坡陡,水土流失非常严重。关于该区的植被恢复虽然已经开展了一些研究工作,但多数研究集中在退化过程和恢复技术上,关于土壤养分对植被变化的影响研究的较少^[11,12]。本研究选择了干旱河谷区土壤的主要限制养分氮和磷进行施肥试验,探讨这两种养分对植物群落动态的影响规律,旨在为干旱河谷退化生态系统的恢复提供理论依据。

1 研究地点与研究方法

1.1 研究地点概况

本研究在云南省东川市绿茂乡境内的中国科学院东川泥石流观测研究站进行。该站位于东经 103°,北纬 26°,属金沙江一级支流小江流域。本流域为侵蚀中山,山体由于强烈上升,河流急剧下切,形成了深切河谷,相对高差大多在 200~500 m。小江河谷垂直带明显,按海拔高程可分为 3 个垂直带即:亚热带半干旱河谷带(200~1 600 m);暖温带半湿润中低山带(1 600~2 300 m);寒温带湿润高山带(2 300~4 400 m)。

研究地点位于亚热带半干旱河谷带。本地的多年平均气温在 20℃以上,≥10℃积温为 6 000℃,最高气温 40.9℃,最低气温 -2℃。最热月平均气温 19~22℃,最冷月平均气温在 10℃以下。多年平均降水量为 693 mm 平均蒸发量为 3 638 mm,蒸发量约是降水量的 5 倍。本地气候干湿季分明,从 11 月至翌年的 4 月为干季,此间的降水量仅占全年降水量的 12%。5~10 月为湿季,降水量占全年降水量的 88%。

由于研究地区气候带明显,因此小江流域的土壤类型从高向低主要有高山草甸土,山地黄壤,红壤和燥红土,本研究在海拔较低的燥红土上进行。

在干旱河谷地区由于人类的长期破坏,原始植被已荡然无存,现存植被有草丛、灌草丛、稀树灌木草丛以及一些栽植的人工林。分布较广的为草丛和灌木草丛。草本植物以扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、香茅(*Cymbopogon distans*)、戟叶酸模(*Rumex hastatus*)等为代表。灌木以车桑子(*Dodonea angustifolia*)、余甘子(*Phyllanthus emblica*)、马桑(*Coriaria sinica*)等为代表。乔木树种主要有木棉(*Bombax ceiba*)、清香木(*Pistacia weinmannifolia*)等。除此之外还有一些耐旱的仙人掌(*Opuntia monocantha*)、霸王鞭(*Euphorbia royleana*)等分布。

1.2 研究方法

1.2.1 试验地设置

试验地设在中国科学院东川泥石流观测研究站后山。试验地海拔约为 1 350 m,坡向为 NE40°,坡度为 28°。试验地的土壤为褐燥土亚类,由于长期侵蚀,表土层大量流失,现存土壤土层较薄,石砾含量较高。试验地植被为灌草丛,但灌木种类很少,以草本占主要优势。优势种为扭黄茅、主要伴生种有小叶荩草(*Arthraxon hispidus*)、类芦、竹油芒(*Spodiopogon bambusoides*)、截叶胡枝子(*Lespedeza juncea*)。由于灌木较矮,群落在高度上分层不明显,只有一个层次。在所选择的地块内先划分出 3 m×5 m 的样方 30 个,然后再在每个样方内划分出 6 个 1 m×2.5 m 的小样方(试验地内总计分出 180 个小样方)。施肥试验设 6 个处理,每一个小样方安排一个处理,每个处理重复 30 次。

1.2.2 施肥试验:施肥试验分施氮肥(硝酸铵)和磷肥(过磷酸钙)两种。氮肥设 3 个水平分别为:5,15,25 g·a⁻¹·m⁻²;磷肥设两个水平分别为:10,20 g·a⁻¹·m⁻²;另外还设一个不施肥的对照。施肥时在每个 3 m×5 m 样方内的 6 个小样方分别安排上述 6 个处理,各个处理随机排列。施肥试验于 2000 年 5 月末开始,10 月中旬结束。施肥分两次完成,第一次在 6 月 1 号,第二次在 8 月 1 号,每次施肥数量为全年用量的一半。每次施肥时将肥料均匀地散在各个样方内。

1.2.3 土壤和植物养分测定

于施肥试验开始前的 5 月 28 日,在每个小样方内设一个采样点,采集 0~20 cm 内的土壤。分

析土壤的有机质,全量 N、P、K、Ca、Mg,硝态氮,铵态氮,速效 P、K。在试验结束时的 10 月 13 日,按同样方法采集土壤样品,分析土壤硝态氮,铵态氮,速效 P。同时,在每个小样方内不分种类混合采集植物地上部样品,分析植物体内的 N 和 P 浓度。土壤有机质采用 $K_2Cr_2O_7$ 加热法测定,全 N 用凯氏法,全 P 用 $HClO_4-H_2SO_4$ 法,全 K 用 NaOH 熔融法,全 Ca 和全 Mg 用 $HNO_3-HF-HClO_4$ 消煮法,硝态氮和铵态氮用 2M KCl 浸提法,速效磷用 $NaHCO_3$ 浸提法,速效钾用 NH_4OAc 浸提法。植物体内 N 和 P 测定采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 蒸馏法^[13]。试验开始时土壤的有机质浓度为 1.446%,全量 N、P、K、Ca、Mg 浓度分别为 0.062%、0.032%、0.738%、1.105% 和 0.442%。

1.2.4 生物量测定

于 2000 年的 10 月中旬,在每个小样方内设置 1 个 $0.5\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的取样样方进行收割,每种处理重复 30 次。收割时将样方内的草本和乔灌木地上部分用剪刀紧贴地表割下,全部称取鲜重,然后取样测定含水量,计算干重。收割时记载样方内出现的植物种类,查数每种植物的株数,用来计算多样性指数。

1.2.5 多样性指数的计算

本研究采用了 3 个常用的 α 多样性指数,分析施肥处理对群落植物种多样性变化的影响,即 Margalef 丰富度指数,Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数^[14],其公式如下:

Margalef 丰富度指数:

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (\text{Margalef, 1958})$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (N_i/N) \ln(N_i/N) \quad (\text{Pielou, 1975})$$

Pielou 均匀度指数:

$$E = H' / \ln S \quad (\text{Pielou, 1975})$$

式中, S 为物种数目, N_i 是第 i 个物种的个体数, N 为所有物种个体总数。

2 结果与分析

2.1 施肥对群落地上生物量的影响

经过一个生长季的处理后,施肥普遍导致群落地上生物量增加(图 1),而且施氮时群落地上生物量增加的数量要高于施磷处理的。在施氮的 3 个处理,群落的地上生物量均明显高于对照 ($p < 0.01$)。在中等施氮条件下(施氮量为

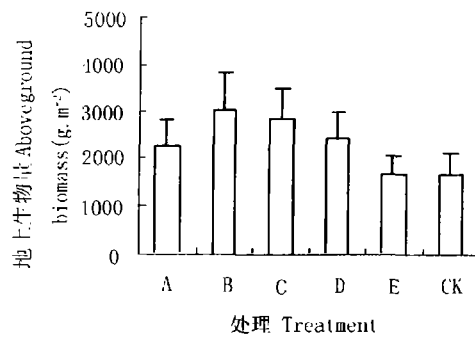


图 1 氮磷肥对群落地上生物量的影响

Fig. 1 The effects of nitrogen and phosphorus application on aboveground biomass of grass community

A: $5\text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ of N; B: $15\text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ of N; C: $25\text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ of N; D: $10\text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ of P; E: $20\text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ of P; CK: 对照 Control

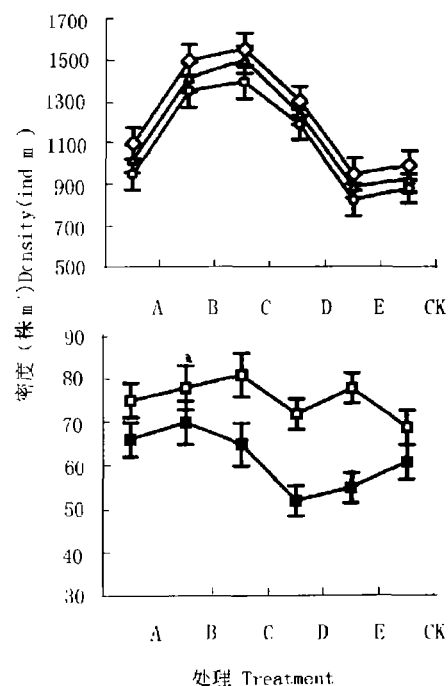


图 2 氮磷肥对群落密度的影响

Fig. 2 The effects of nitrogen and phosphorus application on density of community

- ◇- 群落总密度 Total density of community
- △- 草本植物 Herba
- 禾本科草本 Gramineae
- 禾本科以外的草本 Other herba except Gramineae
- 乔灌木 Trees and shrubs

A; B; C; D; E; CK 见图 1 See Fig. 1

$15\text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)时,群落的地上生物量达到最高值,比对照增加 80.1%。当施氮量增加到 $25\text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,群落的地上生物量反而略有下

降。在施磷肥的两个处理,当施磷量为 $10 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,群落的地上生物量明显高于对照 ($p < 0.01$),此时的生物量比对照增加43.2%。而当施磷量增加到 $20 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,群落的地上生物量明显下降,此时的生物量与对照无明显差异 ($p > 0.05$)。当施用的氮和磷超过一定数量时,群落的地上生物量出现下降,可能主要是由于单一养分的供给,导致了养分吸收的不平衡,使植物生长下降。

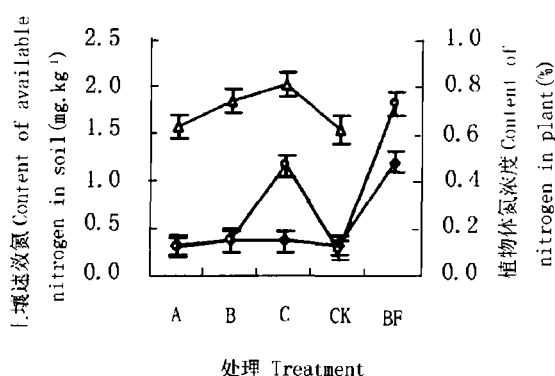


图3 施氮对土壤速效氮和植物体氮浓度的影响

Fig. 3 The effects of nitrogen addition on content of available nitrogen in soil and nitrogen in plant

- Δ - 植物体氮浓度 Nitrogen content in plant
- $\circ$ - 土壤硝态氮浓度 Soil nitrate content
- $\blacklozenge$ - 土壤铵态氮浓度 Soil ammonium content

F: 施肥前 Before fertilization A; B; C; CK 见图1 See Fig. 1

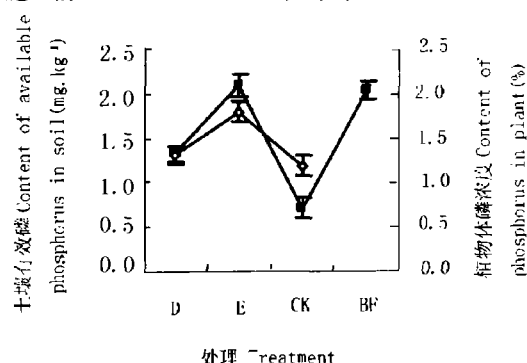


图4 施磷对土壤有效磷和植物体磷浓度的影响

Fig. 4 The effects of phosphorus addition on content of available phosphorus in soil and phosphorus in plant

- $\diamond$ - 植物体磷浓度 Phosphorus content in plant
- $\blacksquare$ - 土壤有效磷浓度 Soil available phosphorus content

BF: 施肥前 Before fertilization D; E; CK 见图1 See Fig. 1

2.2 施肥对群落密度的影响

由于不同植物种对土壤养分增加的反应不同,因此施肥后将引起群落以及各组成种密度的变化。测定结果表明,经过施肥处理后群落的总密度出现

增加,施氮处理引起群落密度增加的程度要高于施磷处理的(图2)。在施氮的3个处理,随着施氮量的增加,群落的总密度表现出逐步增加的趋势。当施氮量为 $15 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $25 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,总密度与对照达到明显差异 ($p < 0.01$)。在施磷肥的两个处理,当施磷量为 $10 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,群落的总密度明显高于对照 ($p < 0.01$)。而当施磷量增加到 $20 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,群落的总密度则出现下降,此时的总密度略低于对照。

在我们研究的群落,草本植物占主要优势,其演替趋势为,草丛—灌草丛—稀树灌草丛,因此乔灌木数量的增加是系统得到恢复的标志。比较施肥后草本和乔灌木密度的变化,施肥处理对草本植物密度的影响较大,而对乔灌木密度的影响较小(图2)。从总的趋势上看,施肥引起草本植物密度的变化与群落总密度的变化规律相似。在施氮和施磷时乔灌木密度与对照均无明显差异 ($p > 0.05$)。

在草本植物中,施肥后密度变化较大的是禾本科植物(图2)。出现的主要种类为,扭黄茅、小叶荩草、类芦和竹油芒。肥后禾本科植物密度的变化与草本植物密度和群落总密度的变化规律相似,这表明群落总密度的变化主要是由禾本科植物密度变化引起的。禾本科除外的其它草本植物密度无论在施氮和施磷时,其密度都表现出增加的趋势,但增加的幅度相对较小。

2.3 施肥对植物多样性的影响

在我们所研究的群落中总计出现植物34种,各施肥处理中出现的植物种类在22~24种之间(表1),无显著差异 ($p > 0.05$)。施肥与对照相比, Margalef 丰富度指数出现下降的趋势,但各处理间差异不显著 ($p > 0.05$)。Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数,在各处理间也均无明显差异 ($p > 0.05$)。这表明施肥处理并没有引起群落植物多样性的明显变化。

2.4 施肥对土壤有效养分的影响

在试验开始时土壤(0~20 cm)的有效养分浓度很低,分析结果表明,铵态氮和硝态氮浓度分别为 $1.210 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.827 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷浓度(P浓度)为 $2.049 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图3,图4)。在试验结束时的生长季末期进行同样的测定,结果表明,土壤的有效养分浓度进一步下降。在施氮肥条件下,土壤铵态氮浓度施肥和对照无明显差异 ($p > 0.05$),但都明显低于施肥前的浓度

($p < 0.05$)。土壤硝态氮浓度施肥处理均高于对照,而且随着施氮量的增加而增加,但亦低于施肥前的浓度。在施磷肥条件下,施肥处理的有效磷浓度均高于对照,而且随着施磷量的增加而增加。当施磷量为 $20 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,土壤有效磷浓度与

施肥前相近。在施氮和施磷时植物体氮和磷的浓度均高于对照(图 3,4),因此施肥增加了植物的养分吸收。植物对土壤养分的吸收、降雨淋溶作用和土壤固定作用是导致生长季后期土壤有效养分浓度下降的主要原因。

表 1 施肥对群落植物多样性的影响

Table 1 The effects of nitrogen and phosphorus application on diversity of grass community

多样性指数 Diversity indices	处理 Treatment					
	A	B	C	D	E	CK
Shannon-Wiener 指数	1.75	1.68	1.75	1.78	1.67	1.73
Margalef 指数	2.63	2.59	2.76	2.69	2.68	2.91
Pielou 指数	0.60	0.58	0.54	0.57	0.60	0.57
出现物种数 Species number	22	22	24	23	22	24

A;B;C;D;E; CK 见图 1 See Fig 1

3 讨论

本试验施氮引起群落生物量的增加要高于施磷处理的,说明氮对群落生产力的限制作用要大于磷。其他人的研究也表明,在严重退化的生态系统氮是主要的限制因子^[3],施氮可以导致群落生物量的增加^[2,7,15],这和我们的结果是一致的。施磷也引起了群落生物量较大的增加。这表明在亚热带地区由于土壤普遍缺磷,磷也在一定程度上限制了植物的生长。

施肥导致了禾本科植物密度迅速增加,群落在短期内恢复成以禾本科草本为主的状态,但施肥没有导致乔木和灌木密度的明显增加。Huberty 等进行的施氮肥试验经过 7 年的观察表明^[7],草本植物一直在群落中占统治地位,而乔木和灌木出现的很少。Carson 和 Barrett 的研究也表明^[16],施肥后一年生草本植物迅速建立,并在 3 年内得到维持。本研究虽然只经过一年时间,但表现出类似的规律。

研究表明,施肥可以引起群落密度的下降。Theodose 和 Bowman 在所研究的 16 个群落中^[8],11 个随氮增加种密度下降,4 个群落没有变化。仅在一个干旱的草本群落种密度在施氮后出现增加。在我们研究的群落种密度随着施氮表现增加,与 Theodose 和 Bowman 研究的干旱草本群落种密度对施氮的反应规律相似^[8]。由于我们研究的群落也是生长在干旱环境下,因此是否在干旱条件下生长的群落都具有这一规律,需要今后深入研究。

群落植物多样性对养分增加的反应比较复杂,目前多数研究认为施肥会导致群落植物多样性下降^[2,9,15],但也有一些研究表明,施肥对植物多样

性无显著影响。Goldberg 等进行的为期一年施肥试验以及 huberty 等经过 7 年的施肥试验表明^[6,7],植物种的多样性均未出现明显变化。本试验施肥没有引起群落植物多样性的明显变化,试验时间较短,系统还没有作出充分反应,可能是其原因之一。

参 考 文 献

1. Boyer K E, J B Zedler. Effects of nitrogen addition on the vertical structure of a constructed cord grass marsh. *Ecological Applications*, 1998, 8:692 ~ 705.
2. Katharyn E B, B Z Joy. Nitrogen addition could shift plant community composition in a restored California salt marsh. *Restoration Ecology*, 1999, 7:74 ~ 85.
3. Tilman D. Secondary succession and the pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients. *Ecological Monographs*, 1987, 57:189 ~ 214.
4. Tillman D. Species richness of experimental productivity gradients: how important is colonization limitation? *Ecology*, 1993, 74:2179 ~ 2191.
5. Foster B L, K L Gross. Species richness in successional grassland: effects of nitrogen enrichment and plant litter. *Ecology*, 1998, 79: 2 598 ~ 2 602.
6. Goldberg D E, T E Miller. Effects of different resource additions on species diversity in an annual plant community. *Ecology*, 1990, 71: 213 ~ 225.
7. Huberty L E, K Gross, C. Miller. Effects of nitrogen addition on successional dynamics and species diversity in Michigan old-fields. *Journal of Ecology*, 1998, 86:794 ~ 803.
8. Theodose T A, W D Bowman. Nutrient availability, plant abundance, and species diversity in two alpine tundra communities. *Ecology*, 1997, 78:1861 ~ 1872.
9. Gough L, C W Osenberg, K L Gross. Fertilization effects on

- species density and primary productivity in herbaceous plant communities. *Oikos*, 2000, 89:428 ~ 439.
10. 金振洲, 欧晓昆. 干热河谷植被. 昆明: 云南大学出版社, 2000. 141 ~ 214
11. 张有富. 干热河谷气候区荒坡生物治理技术. *山地学报*, 1998, 16(3): 248 ~ 251
12. 扬忠, 张信宝, 王道杰. 金沙江干热河谷的植被恢复. *山地学报*, 1999, 17: 152 ~ 156
13. 鲁如坤. 土壤和农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 2000. 107 ~ 108, 147 ~ 197, 306 ~ 315
14. 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究: 丰富度、均匀度和物种多样性指数. *生态学报*, 1995, 15: 268 ~ 277
15. Ditommaso A, L W Aarssen. Resource manipulations in natural vegetation: a review. *Vegetation*, 1989, 84: 9 ~ 29
16. Carson W P, G W Barrett. Succession in old-field plant communities: effects of contrasting types of nutrient enrichment. *Ecology*, 1988, 69: 984 ~ 994