

# 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷化学计量特征研究

李玉霖, 毛伟, 赵学勇, 张铜会

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

**摘要:**区域尺度植物叶片氮磷元素的化学计量特征对于认识陆地生态系统空间格局变化规律、未来变化趋势的预测, 以及对全球变化的响应具有重要意义. 通过野外调查和文献整理, 对中国北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶片氮磷含量及化学计量比的分布特征及其与水热要素的相关关系进行了研究. 结果表明, 北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶片 N 含量的平均值为  $(24.45 \pm 8.1) \text{ mg/g}$ , P 含量的平均值为  $(1.74 \pm 0.88) \text{ mg/g}$ , 氮磷比平均值  $15.77 \pm 7.5$ . 与全球、全国以及区域尺度的研究结果相比, 这些区域植物具有相对较高的叶片 N 和 P 含量, 但是叶片 N/P 无显著差异, 具有保守性的特点. 北方典型荒漠及荒漠化地区不同生活型植物叶片 N、P 含量 N/P 之间存在显著差异, 灌木植物和非禾本科植物具有相对较高的 N 含量, 非禾本科植物具有相对较高的 P 含量, 灌木植物具有相对较高的氮磷比, 说明不同生活型植物具有不同的养分利用策略. 北方典型荒漠及荒漠化地区不同研究区植物叶片 N 含量无显著差异, 但 P 和 N/P 含量差异显著. 科尔沁沙地和毛乌素沙地植物叶片 P 含量较高. 塔里木盆地、准噶尔盆地以及阿拉善高原的大部分植物叶片  $\text{N/P} > 16$ , 科尔沁沙地的大部分植物叶片  $\text{N/P} < 14$ , 说明不同研究区的土壤养分有效性存在差异. 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 N、P 含量以及 N/P 与各研究区年平均温度没有明确相关性, 但多年平均降水与叶片 P 含量以及 N/P 分别呈显著正相关和负相关关系.

**关键词:**土地荒漠化; 生态化学计量学; 叶片; 生活型; 养分

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)08-1716-10

## Leaf Nitrogen and Phosphorus Stoichiometry in Typical Desert and Desertified Regions, North China

LI Yu-lin, MAO Wei, ZHAO Xue-yong, ZHANG Tong-hui

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Characteristics of leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry at regional scale is key factors to understand spatial pattern, forecast change trends and reveal responses of terrestrial ecosystem to global change. In this study, pattern of leaf nitrogen and phosphorus of 214 plants was investigated to elucidate their relationships with rainfall and temperature in typical desert and desertified regions of northern China. The results showed that average leaf nitrogen concentration, average leaf phosphorus concentrations, and leaf N/P of 214 species are  $(24.45 \pm 8.1) \text{ mg/g}$ ,  $(1.74 \pm 0.88) \text{ mg/g}$ ,  $15.77 \pm 7.5$  in these regions of northern China, respectively. Compared with other studies at global, national or regional scale, leaf nitrogen and phosphorus concentrations are significantly higher in this study ( $p < 0.001$ ). However, leaf N/P didn't show any significant differences with other studies. This implies that leaf N/P is generally well-constrained. One-way ANOVA analysis showed that leaf N, P, and N/P varied significantly among trees, shrubs, graminoids, and forbs. Leaf N concentration in shrubs, forbs and leaf P concentration in forbs are averagely higher than those in other life-forms, respectively. This implies that nutrient use strategies are significantly different among plant life-forms. There are no significant differences in leaf nitrogen concentration among each typically desert and desertified region. However, Leaf phosphorus concentration and leaf N/P are significantly different among each typically desert and desertified regions. Leaf phosphorus concentrations are relatively high in Kerqin Sand Land and Mowuso Sand Land. Leaf N/P of most species in Talimu basin, Zhunger Basin, and Alashan is higher than 16, and lower than 14 of most species in Kerqin Sand land. This means that nutrient constraining in different regions varies greatly. Correlations analysis showed that leaf N, P, and N/P are significantly correlated with annual precipitation, but not significantly correlated with annual mean temperature in desert and desertified regions of northern China.

**Key words:** land desertification; ecological stoichiometry; leaf; life-form; nutrient

氮和磷是陆地生态系统中植物生长的主要限制性资源, 在植物体内存在功能上的联系<sup>[1, 2]</sup>. 因此研究氮磷的平衡关系对于认识生态系统碳汇潜力及其对全球变化的响应具有重要意义<sup>[2-4]</sup>.

植物体内的氮磷含量和氮磷化学计量比不仅受到植物生长环境中土壤氮磷养分可供性的影响,

而且土壤其它养分的可供性、环境水热条件、植

收稿日期: 2009-10-26; 修订日期: 2010-01-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2009CB421102); 国家自然科学基金项目(30870426, 30970471); 中国科学院知识创新工程方向性项目(KZCX2-YW-431)

作者简介: 李玉霖(1970 ~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为干旱半干旱区植物生态学与恢复生态学, E-mail: lyulin@gmail.com

物对养分的需求量、植物发育阶段等因素的影响也不容低估<sup>[5-7]</sup>. 近年来,全球或区域尺度上植物叶片氮磷含量分布格局及其与环境要素之间关系得到了普遍重视. Reich 等<sup>[8]</sup>借助已发表文献中的数据,分析了全球 452 个样点 1 280 种植物叶片的氮磷分布格局及其与环境因素之间的关系. 相关的研究在国内也得到了一些学者的重视,已经开展了许多全国或区域尺度上植物叶片氮磷含量分布格局及其与环境关系的研究<sup>[5, 9, 10]</sup>. 尽管这些研究已经在一定程度上阐明了叶片氮磷的分布格局及其与环境之间的关系,但是仍然不能全面揭示陆地生态系统碳氮磷平衡关系的化学计量比格局和元素相互作用与制约的规律.

中国北方典型荒漠及荒漠化土地主要包括中国东北西部科尔沁沙地、北部浑善达克沙地和毛乌素沙地和西北部阿拉善高原、塔里木盆地和准噶尔盆地<sup>[11, 12]</sup>. 这些区域在地域上较大的跨度使其生态系统特征存在很大的变异性,揭示这些变异性对于探讨干旱半干旱陆地生态系统空间格局变化规律、未来变化趋势的预测,以及对全球变化的响应与反馈具有重要意义. 本研究以分布在我国北方典型荒漠及荒漠化区域科尔沁沙地、浑善达克沙地、毛乌素沙地、阿拉善高原、准噶尔盆地和塔里木盆地 214 种植物为对象,探讨植物叶片氮磷含量及化学计量比的分布特征及其与水热要素的相关关系,分析不同典型区域及不同生活型植物叶片氮磷含量及化学计量比的差异.

## 1 研究区概况与方法

### 1.1 研究区概况

本研究中所涉及的中国北方典型荒漠及荒漠化区域主要包括位于中国西北典型干旱荒漠区的塔里木盆地、准噶尔盆地和阿拉善高原,位于北方中东部半干旱区的毛乌素沙地、浑善达克沙地和科尔沁沙地(图 1).

这些典型荒漠及荒漠化区域一般降水量不多,属于干旱、半干旱气候. 年降水量分布趋势是从北方中东部至西北区域由多到少,又由少到略有增多. 北方中东部科尔沁沙地、浑善达克沙地、毛乌素沙地年平均降水量略多,接近 500 mm;西北部阿拉善高原区和塔里木盆地年降水量一般不足 100 mm,准噶尔盆地年降水量有所增加,约 100 ~ 250 mm 左右. 年平均气温变化一般在 -4 ~ 16℃ 之间,分布趋势从北方中东部科尔沁沙地、浑善达克沙地到毛乌素沙

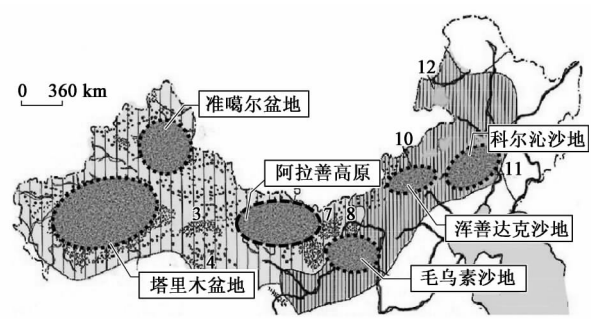


图 1 研究区位置示意

Fig. 1 Location of study sites

地、阿拉善高原、塔里木盆地气温逐渐升高,至准噶尔盆地气温又逐渐降低. 由于北方典型荒漠及荒漠化区域气候干燥、地表物质疏松,在风力的作用下极易形成风沙天气. 这些区域风沙日一般在 20 ~ 100 d 左右,其中沙尘暴天气多达 35 ~ 60 d,浮尘超过 100 d.

北方典型荒漠及荒漠化区域成土母质的类型多种多样,低山和丘陵大部分由古生代的火成岩、变质岩和中生代的沉积岩~,地面普遍覆盖着一层厚度不大的粗屑的风化残积物或残积-坡积物;盆地则多堆积着深厚的第四纪松散物质,其成因有冰积、洪积、洪积-冲积、冲积、湖积和风积等,黄土仅见于准噶尔盆地的南缘部分地区. 由于母质较粗,使得在其上发育的荒漠土壤往往性状不很稳定、层次分化弱,并且多表现为薄层性和粗骨性.

与其他地区相比,北方典型荒漠及荒漠化区域物种相对贫乏. 分布于西北荒漠区域的种子植物总数仅 1 000 余种. 准噶尔盆地在 20 万 km<sup>2</sup> 的面积上才 500 种左右,塔里木盆地 (50 万 km<sup>2</sup>) 不到 200 种. 植物物种丰富度不高,但却含有大量古老残遗种类. 分布于这里的植物很多是第三纪,甚至是白垩纪的残遗种类——古地中海干热植物的后裔. 并且由于生态条件的极端严酷性,这里发育了一大批本地特有属和特有种. 著名的特有属有四合木属 (*Tetraena*)、绵刺属 (*Potania*)、革苞菊属 (*Tugarinowia*)、百花蒿属 (*Stilpnolepis*) 和连蕊芥属 (*Synstemon*) 等.

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 数据来源

本研究中的植物叶片 N、P 含量数据主要来源于 2 个方面:一是从野外直接采样测定的数据;二是来源于公开发表的学术论文或出版的专著中的数据. 科尔沁沙地、浑善达克沙地、毛乌素沙地及其周边区域植物叶片氮磷数据主要是通过野外采样获得

的,共计 137 种植物.其他区域的植物叶片氮磷数据主要来源于 Han 等<sup>[13]</sup> 和侯学煜<sup>[14]</sup> 给出的部分数据,共计 77 种.十 获得分布于准噶尔盆地、塔里木盆地、阿拉善高原、毛乌素沙地、科尔沁沙地、浑善达克沙地及其周边地区的 214 种植物叶片氮磷数据,其中准噶尔盆地 28 种,塔里木盆地 14 种,阿拉善高原 16 种、毛乌素沙地 56 种、科尔沁沙地 57 种、浑善达克沙地 43 种.详细植物名录见表 1.本研究仅收集上述区域自然生态系统中的植物种叶片氮磷数据,不包括农作物、人工林等植物种,并且只收集植物成熟绿叶氮磷含量(采集时间为 7~9 月)数据.

研究所需要的气象资料(多年平均温度和多年平均降水量)主要来源于各研究区域代表旗县气象站.每个研究区域选择 5~8 个气象站,收集各气象站 30 a(1970~2000 年)年平均气温和年降水数据,然后分别对各研究区域内所有气象站的相应气象要素进行算术平均,以平均值代表该研究区域内的气候状况.

### 1.2.2 野外采样及分析

在各研究区选择具有代表性的典型植物群落,选择植物群落内的优势植物进行调查.对于野外选定的植物种,选择 8~10 株生长良好、没有遮阴的个体作为取样植株,选取样株时尽量选择大小一致的植株.在选定的每株植物采集 15~20 片完全伸展、没有病虫害的成熟叶片.带回室内以后,将叶片放入 60℃ 烘箱内烘干 48 h.随后将烘干的叶片用植物粉碎机粉碎,测定粉碎样品中的全氮和全磷含量.叶片 N 含量采用凯氏定氮法测定,叶片 P 含量采用高氯酸、硫酸消化,钼锑抗比色法测定.

### 1.3 数据分析

首先对每个研究区域中同种植物的叶片 N、P 含量的测定值计算平均值,然后分析不同研究区域内所有植物叶片 N、P 以及 N/P 的分布范围和变异特征;并且将所有植物种按乔木、灌木、草本植物进行分类,同时将草本植物分为禾本科植物以及非禾本科草本植物两种类型,分析不同生活型植物叶片 N、P 以及 N/P 的分布范围和变异特征.其中乔木植物 21 种,灌木植物 56 种,禾本科草本植物 31 种,非禾本科草本植物 106 种;最后分析所有植物叶片 N、P 含量和 N/P 之间的相关关系.

采用 SPSS 统计分析软件包(SPSS 16.0 for Windows, Chicago, USA)进行数据的统计分析.为了满足正态分布的要求,首先对数据进行自然对数转换,然后进行 ANOVA 假设检验、相关和回归分析.

数据的正态分布采用 One Sample Kolmogorov-Smirnov 进行检验.

## 2 结果与分析

### 2.1 北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶片氮磷含量及氮磷比分布特征

图 2 为中国北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种

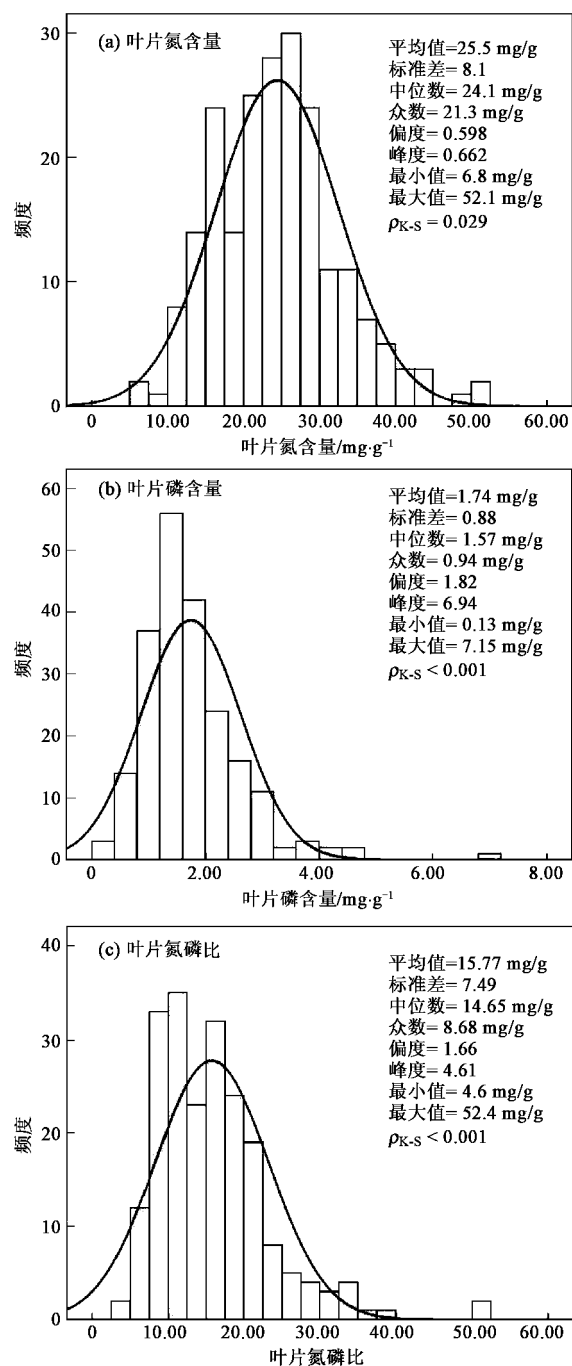


图 2 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷含量及 N/P 的频数分布

Fig. 2 Histogram of leaf N, P concentrations and N/P in typical desert and desertified regions of north China

表 1 北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物名录

Table 1 Species list in typical desert and desertified regions of northern China

| 研究区    | 物种     | 拉丁名                                   | 生活型 | 科    | 物种    | 拉丁名                                  | 生活型 | 科     |
|--------|--------|---------------------------------------|-----|------|-------|--------------------------------------|-----|-------|
| 阿拉善高原  | 白刺     | <i>Nitraria tangutorum</i>            | 灌木  | 蒺藜科  | 角果碱蓬  | <i>Suaeda corniculata</i>            | 草本  | 藜科    |
|        | 白花草木樨  | <i>Melilotus albus</i>                | 草本  | 豆科   | 赖草    | <i>Aneurolepidium dasystachys</i>    | 草本  | 禾本科   |
|        | 草木樨    | <i>Melilotus suaveolens</i>           | 草本  | 豆科   | 马蔺    | <i>Iris pallasii</i>                 | 草本  | 鸢尾科   |
|        | 华北驼绒藜  | <i>Ceratoides latens</i>              | 灌木  | 藜科   | 蒙古鸦葱  | <i>Scorzonera mongolica</i>          | 草本  | 菊科    |
|        | 黄花补血草  | <i>Limonium aureum</i>                | 草本  | 蓝雪科  | 沙冬青   | <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>     | 灌木  | 豆科    |
|        | 芨芨草    | <i>Achnatherum splendens</i>          | 草本  | 禾本科  | 细枝盐爪爪 | <i>Kalidium gracile</i>              | 灌木  | 藜科    |
|        | 假苇拂子茅  | <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> | 草本  | 禾本科  | 盐地风毛菊 | <i>Saussurea salsa</i>               | 草本  | 菊科    |
|        | 尖叶盐爪爪  | <i>Kalidium cuspidatum</i>            | 灌木  | 藜科   | 油蒿    | <i>Artemisia ordosica</i>            | 灌木  | 菊科    |
| 浑善达克沙地 | 白杜     | <i>Euonymus bungeanus</i>             | 乔木  | 卫矛科  | 蒙古羊茅  | <i>Festuca dahurica</i>              | 草本  | 禾本科   |
|        | 白桦     | <i>Betula platyphylla</i>             | 乔木  | 桦木科  | 木岩黄芪  | <i>Hedysarum fruticosum</i>          | 草本  | 豆科    |
|        | 白婆婆纳   | <i>Veronica incana</i>                | 草本  | 玄参科  | 沙鞭    | <i>Psammochloa mongolica</i>         | 草本  | 禾本科   |
|        | 白扦     | <i>Picea meyeri</i>                   | 乔木  | 松科   | 沙地柏   | <i>Sabina vulgaris</i>               | 乔木  | 柏科    |
|        | 扁蓿豆    | <i>Melissitus ruthenicus</i>          | 草本  | 豆科   | 山棘豆   | <i>Oxytropis hailarensis</i>         | 草本  | 豆科    |
|        | 并头黄芩   | <i>Scutellaria scordifolia</i>        | 草本  | 唇形科  | 山荆子   | <i>Malus baccata</i>                 | 乔木  | 蔷薇科   |
|        | 叉分蓼    | <i>Polygonum divaricatum</i>          | 灌木  | 蓼科   | 山杨    | <i>Populus davidiana</i>             | 乔木  | 杨柳科   |
|        | 茶条槭    | <i>Acer ginnala</i>                   | 乔木  | 槭树科  | 芍药    | <i>Paeonia lactiflora</i>            | 草本  | 毛茛科   |
|        | 差巴嘎蒿   | <i>Artemisia halodendron</i>          | 灌木  | 菊科   | 蠓菊    | <i>Takaikatzuchia lomonossowii</i>   | 草本  | 菊科    |
|        | 串铃草    | <i>Phlomis mongolica</i>              | 草本  | 唇形科  | 乌苏里鼠李 | <i>Rhamnus ussuriensis</i>           | 灌木  | 鼠李科   |
|        | 大果榆    | <i>Ulmus macrocarpa</i>               | 乔木  | 榆科   | 细裂白头翁 | <i>Pulsatilla tenuiloba</i>          | 草本  | 毛茛科   |
|        | 大婆婆纳   | <i>Veronica dahurica</i>              | 草本  | 玄参科  | 细叶小檗  | <i>Berberis poiretii</i>             | 灌木  | 小檗科   |
|        | 地梢瓜    | <i>Cynanchum thesioides</i>           | 灌木  | 萝藦科  | 细叶益母  | <i>Leonurus sibiricus</i>            | 草本  | 唇形科   |
|        | 防风     | <i>Saposhnikovia divaricata</i>       | 草本  | 伞形科  | 细叶鸢尾  | <i>Iris tenuifolia</i>               | 草本  | 鸢尾科   |
|        | 拂子茅    | <i>Calamagrostis epigejos</i>         | 草本  | 禾本科  | 楔叶茶藨子 | <i>Ribes diacanthum</i>              | 灌木  | 虎耳草科  |
|        | 黄柳     | <i>Salix gordejewii</i>               | 灌木  | 杨柳科  | 兴安天门冬 | <i>Asparagus davuricus</i>           | 草本  | 百合科   |
|        | 黄囊苔草   | <i>Carex korshinskii</i>              | 草本  | 莎草科  | 兴安圆柏  | <i>Sabina davurica</i>               | 乔木  | 柏科    |
|        | 灰栒子    | <i>Cotoneaster acutifolius</i>        | 灌木  | 蔷薇科  | 榆树    | <i>Ulmus pumila</i>                  | 乔木  | 榆科    |
|        | 尖叶胡枝子  | <i>Lespedeza juncea</i>               | 灌木  | 豆科   | 园叶桦   | <i>Betula gmelini</i>                | 乔木  | 桦木科   |
|        | 藜芦     | <i>Veratrum nigrum</i>                | 草本  | 百合科  | 窄叶蓝盆花 | <i>Scabiosa comosa</i>               | 草本  | 川续断科  |
|        | 柳兰     | <i>Chamaenerion angustifolium</i>     | 草本  | 柳叶菜科 | 展枝唐松草 | <i>Thalictrum squarrosom</i>         | 草本  | 毛茛科   |
| 科尔沁沙地  | 麻叶苎麻   | <i>Urtica cannabina</i>               | 草本  | 荨麻科  |       |                                      |     |       |
|        | 白草     | <i>Pennisetum centrasiaticum</i>      | 草本  | 禾本科  | 苦马豆   | <i>Swainsona salsula</i>             | 草本  | 豆科    |
|        | 白山蓟    | <i>Olgaea leucophylla</i>             | 草本  | 菊科   | 苦荚菜   | <i>Ixeris chinensis</i>              | 草本  | 菊科    |
|        | 扁蓿豆    | <i>Melissitus ruthenicus</i>          | 草本  | 豆科   | 赖草    | <i>Aneurolepidium dasystachys</i>    | 草本  | 禾本科   |
|        | 苍耳     | <i>Xanthium sibiricum</i>             | 草本  | 菊科   | 冷蒿    | <i>Artemisia frigida</i>             | 灌木  | 菊科    |
|        | 糙隐子草   | <i>Cleistogenes squarrosa</i>         | 草本  | 禾本科  | 芦苇    | <i>Phragmites australis</i>          | 草本  | 禾本科   |
|        | 草木樨    | <i>Melilotus suaveolens</i>           | 草本  | 豆科   | 牻牛儿苗  | <i>Erodium stephanianum</i>          | 草本  | 牻牛儿苗科 |
|        | 叉分蓼    | <i>Polygonum divaricatum</i>          | 灌木  | 蓼科   | 蒲公英   | <i>Taraxacum mongolicum</i>          | 草本  | 菊科    |
|        | 差巴嘎蒿   | <i>Artemisia halodendron</i>          | 灌木  | 菊科   | 乳浆大戟  | <i>Euphorbia esula</i>               | 草本  | 大戟科   |
|        | 虫实     | <i>Corispermum elongatum</i>          | 草本  | 藜科   | 三芒草   | <i>Aristida adscensionis</i>         | 草本  | 禾本科   |
|        | 刺藜     | <i>Chenopodium aristatum</i>          | 草本  | 藜科   | 沙打旺   | <i>Astragalus adsurgens</i>          | 草本  | 豆科    |
|        | 寸苔草    | <i>Carex duriuscula</i>               | 草本  | 莎草科  | 沙地旋覆花 | <i>Inula britanica</i>               | 草本  | 菊科    |
|        | 达乌里胡枝子 | <i>Lespedeza davurica</i>             | 草本  | 豆科   | 沙米    | <i>Agriophyllum squarrosom</i>       | 草本  | 藜科    |
|        | 大籽蒿    | <i>Artemisia sieversiana</i>          | 草本  | 菊科   | 沙生冰草  | <i>Agropyron desertorum</i>          | 草本  | 禾本科   |
|        | 地锦     | <i>Euphorbia humifusa</i>             | 草本  | 大戟科  | 砂蓝刺头  | <i>Echinops gmelinii</i>             | 草本  | 菊科    |
|        | 鹅绒腾    | <i>Cynanchum chinensis</i>            | 草本  | 萝藦科  | 砂引草   | <i>Messerschmidia rosmarinifolia</i> | 草本  | 紫草科   |
|        | 二裂菱菱菜  | <i>Potentilla bifurca</i>             | 草本  | 蔷薇科  | 山杏    | <i>Prunus armeniaca</i>              | 乔木  | 蔷薇科   |
|        | 拂子茅    | <i>Calamagrostis epigeios</i>         | 草本  | 禾本科  | 山竹岩黄芪 | <i>Hedysarum fruticosum</i>          | 草本  | 豆科    |
|        | 甘草     | <i>Glycyrrhiza uralensis</i>          | 草本  | 豆科   | 田旋花   | <i>Convolvulus arvensis</i>          | 草本  | 旋花科   |
|        | 杠柳     | <i>Periploca sepium</i>               | 灌木  | 萝藦科  | 狭叶米口袋 | <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>   | 草本  | 豆科    |
|        | 狗尾草    | <i>Setaria viridis</i>                | 草本  | 禾本科  | 小红柳   | <i>Salix microstachya</i>            | 灌木  | 杨柳科   |
|        | 虎尾草    | <i>Chloris virgata</i>                | 草本  | 禾本科  | 小叶锦鸡儿 | <i>Caragana microphylla</i>          | 灌木  | 豆科    |
|        | 华北驼绒藜  | <i>Ceratoides latens</i>              | 灌木  | 藜科   | 小叶杨   | <i>Populus simonii</i>               | 乔木  | 杨柳科   |
|        | 画眉草    | <i>Eragrostis pilosa</i>              | 草本  | 禾本科  | 羊草    | <i>Leymus chinensis</i>              | 草本  | 禾本科   |

续表 1

| 研究区   | 物种    | 拉丁名                                   | 生活型 | 科    | 物种     | 拉丁名                                  | 生活型 | 科   |
|-------|-------|---------------------------------------|-----|------|--------|--------------------------------------|-----|-----|
|       | 黄蒿    | <i>Artemisia scoparia</i>             | 草本  | 菊科   | 野艾蒿    | <i>Artemisia lavandulaefolia</i>     | 草本  | 菊科  |
|       | 黄柳    | <i>Salix gordejewii</i>               | 灌木  | 杨柳科  | 野黍     | <i>Panicum paludosum</i>             | 草本  | 禾本科 |
|       | 鸡眼草   | <i>Kummerowia striata</i>             | 草本  | 豆科   | 野西瓜苗   | <i>Hibiscus trionum</i>              | 草本  | 锦葵科 |
|       | 蒺藜    | <i>Tribulus terrestris</i>            | 草本  | 蒺藜科  | 榆树     | <i>Ulmus pumila</i>                  | 乔木  | 榆科  |
|       | 假苇拂子茅 | <i>Calamagrostis pseudophragmites</i> | 草本  | 禾本科  | 猪毛菜    | <i>Salsola collina</i>               | 草本  | 藜科  |
|       | 尖头叶藜  | <i>Chenopodium acuminatum</i>         | 草本  | 藜科   |        |                                      |     |     |
| 毛乌素沙地 | 针茅    | <i>Stipa capillata</i>                | 草本  | 禾本科  | 蒙古鸦葱   | <i>Scorzonera mongolica</i>          | 草本  | 菊科  |
|       | 白草    | <i>Pennisetum centrasiaticum</i>      | 草本  | 禾本科  | 棉蓬     | <i>Corispermum hyssopyfolium</i>     | 草本  | 菊科  |
|       | 扁秆藨草  | <i>Scirpus planiculmis</i>            | 草本  | 莎草科  | 木犀状黄芪  | <i>Astragalus melilotoides</i>       | 草本  | 豆科  |
|       | 苍耳    | <i>Xanthium sibiricum</i>             | 草本  | 菊科   | 柠条     | <i>Caragana Korshinskii</i>          | 灌木  | 豆科  |
|       | 柴桦    | <i>Betula fruticosa</i>               | 灌木  | 桦木科  | 披针叶黄华  | <i>Thermopsis lanceolata</i>         | 草本  | 豆科  |
|       | 车前    | <i>Plantago asiatica</i>              | 草本  | 车前草科 | 青杨     | <i>Populus cathayana</i>             | 乔木  | 杨柳科 |
|       | 刺藜    | <i>chenopodium aristatum</i>          | 草本  | 藜科   | 沙鞭     | <i>Psammochloa mongolica</i>         | 草本  | 禾本科 |
|       | 寸草苔   | <i>Carex duriuscula</i>               | 草本  | 莎草科  | 沙地柏    | <i>Sabina vulgaris</i>               | 乔木  | 柏科  |
|       | 地锦    | <i>Euphorbia humifusa</i>             | 草本  | 十字花科 | 旱柳     | <i>Salix matsudana</i>               | 乔木  | 杨柳科 |
|       | 鹅绒委陵菜 | <i>Potentilla anserina</i>            | 草本  | 蔷薇科  | 沙柳     | <i>Salix psammophila</i>             | 灌木  | 杨柳科 |
|       | 二色补血草 | <i>Limonium bicolor</i>               | 草本  | 蓝雪科  | 砂葱     | <i>Allium anisopodium</i>            | 草本  | 毛茛科 |
|       | 甘草    | <i>Glycyrrhiza uralensis</i>          | 草本  | 豆科   | 砂引草    | <i>Messerschmidia rosmarinifolia</i> | 草本  | 紫草科 |
|       | 海乳草   | <i>Glaux maritima</i>                 | 草本  | 报春花科 | 水葱     | <i>Scirpus tabernaemontani</i>       | 草本  | 莎草科 |
|       | 胡枝子   | <i>Lespedeza bicolor</i>              | 草本  | 豆科   | 塔落岩黄耆  | <i>Hedysarum fruticosum</i>          | 草本  | 豆科  |
|       | 花棒    | <i>Hedysarum scoparium</i>            | 灌木  | 豆科   | 文冠果    | <i>Xanthoceras sorbifolia</i>        | 草本  | 莎草科 |
|       | 华北白前  | <i>Cynanchum hancockianum</i>         | 草本  | 萝藦科  | 乌柳     | <i>Salix cheilophylla</i>            | 灌木  | 蒺藜科 |
|       | 芨芨草   | <i>Achnatherum splendens</i>          | 草本  | 禾本科  | 西伯利亚白刺 | <i>Nitraria sibirica</i>             | 灌木  | 蒺藜科 |
|       | 碱蓬    | <i>Suaeda glauca</i>                  | 草本  | 藜科   | 西伯利亚滨藜 | <i>Atriplex sibirica</i>             | 草本  | 藜科  |
|       | 角果碱蓬  | <i>Suaeda corniculata</i>             | 草本  | 藜科   | 西伯利亚蓼  | <i>Polygonum sibiricum</i>           | 草本  | 蓼科  |
|       | 苦豆子   | <i>Sophora alopecuroides</i>          | 灌木  | 豆科   | 细枝盐爪爪  | <i>Kalidium gracile</i>              | 灌木  | 藜科  |
|       | 宽叶独行菜 | <i>Lepidium latifolium</i>            | 草本  | 十字花科 | 鸦葱     | <i>Scorzonera mongolica</i>          | 草本  | 菊科  |
|       | 赖草    | <i>Aneurolepidium dasystachys</i>     | 草本  | 禾本科  | 盐地碱蓬   | <i>Suaeda salsa</i>                  | 草本  | 藜科  |
|       | 砂蓝刺头  | <i>Echinops gmelinii</i>              | 草本  | 藜科   | 盐角草    | <i>Salicornia europaea</i>           | 草本  | 藜科  |
|       | 冷蒿    | <i>Artemisia frigida</i>              | 草本  | 藜科   | 羊柴     | <i>Hedysarum laeve</i>               | 灌木  | 蒺藜科 |
|       | 驴耳风毛菊 | <i>Saussurea glomerata</i>            | 草本  | 菊科   | 优若藜    | <i>Eurotia ceratoides</i>            | 灌木  | 藜科  |
|       | 麻黄    | <i>Ephedra sinica</i>                 | 灌木  | 藜科   | 油蒿     | <i>Artemisia ordosica</i>            | 灌木  | 菊科  |
|       | 马蔺    | <i>Iris pallasii</i>                  | 草本  | 鸢尾科  | 油松     | <i>Pinus tabulaeformis</i>           | 乔木  | 松科  |
|       | 蒙椴    | <i>Tilia mongolica</i>                | 乔木  | 椴树科  | 长叶碱毛茛  | <i>Halerpestes ruthenica</i>         | 草本  | 毛茛科 |
| 塔里木盆地 | 怪柳    | <i>Tamarix laxa</i>                   | 灌木  | 怪柳科  | 骆驼刺    | <i>Alhagi pseudalhagi</i>            | 灌木  | 豆科  |
|       | 大花罗布麻 | <i>Poacynum hendersonii</i>           | 灌木  | 夹竹桃科 | 膜果麻黄   | <i>Ephedra przewalskii</i>           | 灌木  | 麻黄科 |
|       | 红砂    | <i>Reaumuria soongorica</i>           | 灌木  | 怪柳科  | 泡泡刺    | <i>Nitraria sphaerocarpa</i>         | 灌木  | 蒺藜科 |
|       | 花花柴   | <i>Karelinia caspica</i>              | 草本  | 菊科   | 塔里木沙拐枣 | <i>Calligonum roborowskii</i>        | 灌木  | 蓼科  |
|       | 芨芨草   | <i>Achnatherum splendens</i>          | 草本  | 禾本科  | 盐节木    | <i>Halocnemum strobilaceum</i>       | 灌木  | 藜科  |
|       | 尖果沙枣  | <i>Elaeagnus oxycarpa</i>             | 乔木  | 胡颓子科 | 盐穗木    | <i>Halostachys caspica</i>           | 灌木  | 藜科  |
|       | 芦苇    | <i>Phragmites australis</i>           | 草本  | 禾本科  | 胀果甘草   | <i>Glycyrrhiza inflata</i>           | 草本  | 豆科  |
| 准噶尔盆地 | 白茎绢蒿  | <i>Artemisia terrae-albae</i>         | 草本  | 菊科   | 沙蒿     | <i>Artemisia desertorum</i>          | 灌木  | 菊科  |
|       | 白梭梭   | <i>Haloxylon persicum</i>             | 乔木  | 藜科   | 苏丹草    | <i>Sorghum sudanense</i>             | 草本  | 禾本科 |
|       | 扁蓄    | <i>Polygonum aviculare</i>            | 草本  | 蓼科   | 梭梭     | <i>Haloxylon ammodendron</i>         | 灌木  | 藜科  |
|       | 淡枝沙拐枣 | <i>Calligonum leucocladum</i>         | 灌木  | 蓼科   | 驼绒藜    | <i>Ceratoides latens</i>             | 灌木  | 藜科  |
|       | 东方虫实  | <i>Corispermum orientale</i>          | 草本  | 藜科   | 驼蹄瓣    | <i>Zygophyllum fabago</i>            | 草本  | 蒺藜科 |
|       | 红皮沙拐枣 | <i>Calligonum rubicundum</i>          | 灌木  | 蓼科   | 无叶假木贼  | <i>Anabasis aphylla</i>              | 灌木  | 藜科  |
|       | 红砂    | <i>Reaumuria soongorica</i>           | 灌木  | 怪柳科  | 西伯利亚白刺 | <i>Nitraria sibirica</i>             | 灌木  | 蒺藜科 |
|       | 虎尾草   | <i>Chloris virgata</i>                | 草本  | 禾本科  | 西伯利亚冰草 | <i>Agropyron sibiricum</i>           | 草本  | 禾本科 |
|       | 角果藜   | <i>Ceratocarpus arenarius</i>         | 草本  | 藜科   | 细枝岩黄耆  | <i>Hedysarum scoparium</i>           | 灌木  | 豆科  |
|       | 宽叶独行菜 | <i>Lepidium latifolium</i>            | 草本  | 十字花科 | 狭果鹤虱   | <i>Lappula semiglabra</i>            | 草本  | 紫草科 |
|       | 列兴蒿   | <i>Artemisia lessingiana</i>          | 草本  | 菊科   | 盐生草    | <i>Halopteron glomeratus</i>         | 草本  | 藜科  |
|       | 毛莲蒿   | <i>Artemisia santolinaefolia</i>      | 灌木  | 菊科   | 盐生假木贼  | <i>Anabasis salsa</i>                | 灌木  | 藜科  |
|       | 囊果苔草  | <i>Carex physodes</i>                 | 草本  | 莎草科  | 偃麦草    | <i>Elytrigia repens</i>              | 草本  | 禾本科 |
|       | 沙拐枣   | <i>Calligonum mongolica</i>           | 灌木  | 蓼科   | 羽毛三芒草  | <i>Aristida pennata</i>              | 草本  | 禾本科 |

植物叶片 N、P 含量以及 N/P 的频数分布图. 由图 2 可知, 北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶片 N 含量分布的偏度值  $< 1$ , 但经 Kolmogorov-Smirnov 检验, 不服从正态分布 ( $p < 0.05$ ), 而叶片 P 含量和 N/P 的偏度值均大于 1, 呈偏态分布, 经 Kolmogorov-Smirnov 检验, 不符合正态分布 ( $p < 0.05$ ). 可以看出, 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 N、P 含量以及 N/P 存在很大的变异性. 214 种植物叶片 N 含量的变化范围为  $6.8 \sim 52.1 \text{ mg/g}$ , 平均值为  $(24.45 \pm 8.1) \text{ mg/g}$ , 最大值和最小值相差 7 倍以上. 植物叶片 P 含量的分布区间为  $0.13 \sim 7.5 \text{ mg/g}$ , 平均值为  $(1.74 \pm 0.88) \text{ mg/g}$ . 植物叶片 N/P 的分布区间为  $4.6 \sim 52.4$ , 平均值为  $15.8 \pm 7.5$ .

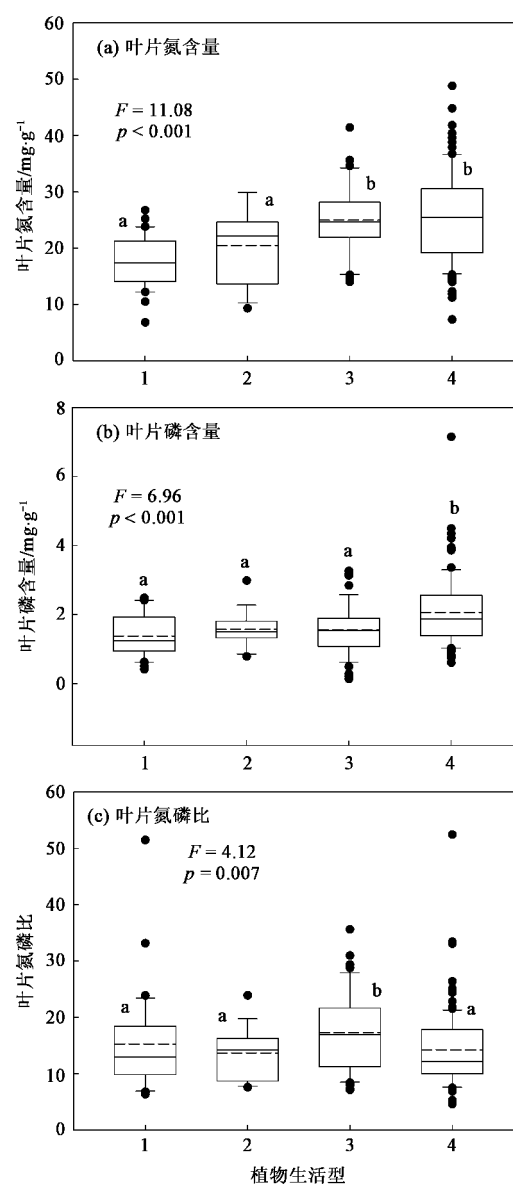
## 2.2 不同生活型植物叶片氮磷含量比较

由图 3 可知, 中国北方典型荒漠及荒漠化地区乔木、灌木、禾本科植物和非禾本科植物叶片 N、P 含量以及 N/P 差异均达极显著水平 ( $p < 0.001$ ). 禾本科植物和乔木植物的叶片平均氮含量分别为  $(17.4 \pm 4.6) \text{ mg/g}$  和  $(20.5 \pm 6.5) \text{ mg/g}$ , 显著小于灌木植物和非禾本科植物的叶片 N 含量 ( $p < 0.05$ ). 对于植物的叶片 P 含量, 只有非禾本科植物的 P 含量显著偏高 ( $p < 0.01$ ), 平均值为  $(2.07 \pm 1.03) \text{ mg/g}$ , 其他生活型植物之间叶片 P 含量无显著差异. 与灌木植物相比, 禾本科植物、乔木植物和非禾本科植物具有相对较小的叶片 N/P, 其平均值分别为  $12.3 \pm 8.9$ 、 $13.7 \pm 4.5$  和  $14.2 \pm 6.9$ .

## 2.3 不同研究区域植物叶片氮磷含量及氮磷比的比较

由图 4 可知, 不同研究区域植物叶片平均 N 含量之间无显著差异 ( $p > 0.05$ ), 但是叶片平均磷含量和 N/P 在不同研究区之间存在显著差异 ( $p < 0.05$ ). 分布于科尔沁沙地和毛乌素沙地的植物其叶片 P 含量平均值相对较高, 分别为  $(1.9 \pm 0.99)$  和  $(2.07 \pm 0.65) \text{ mg/g}$ , 而分布于准噶尔盆地、塔里木盆地和阿拉善高原的植物其叶片 P 含量平均值相对较小, 分别为  $(1.37 \pm 0.48)$ 、 $(1.41 \pm 1.74)$  和  $(1.46 \pm 0.61) \text{ mg/g}$ . 相反分布于科尔沁沙地的植物叶片 N/P 显著小于分布在准噶尔盆地、塔里木盆地和阿拉善高原植物叶片 N/P. 由此可知, 相对于分布在半干旱区沙地的植物, 分布在干旱区 (年降水量  $< 250 \text{ mm}$ ) 荒漠生态系统的植物具有较低的叶片 P 含量和较高的叶片 N/P.

## 2.4 植物叶片 N、P 含量以及 N/P 与气候要素之间的关系

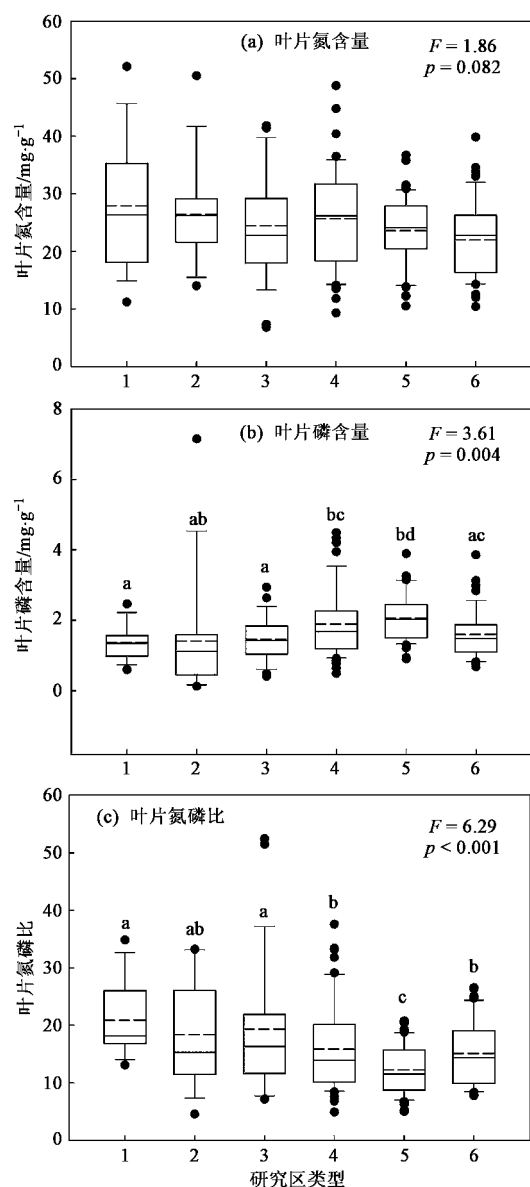


1. 禾本科植物; 2. 乔木植物; 3. 灌木植物; 4. 非禾本科草本植物; 图中箱线图上方字母相同, 表示不同生活型之间无显著差异, 字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ ); 箱线图内的虚线表示平均值的位置

图 3 不同生活型植物叶片 N、P 含量及 N/P 的比较

Fig. 3 Comparison of leaf N, P and N/P among plant life forms

中国北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 P 含量与各研究区多年平均降水之间呈显著正相关关系 ( $r = 0.885, p = 0.019$ ), 而叶片 N/P 与多年平均降水之间呈显著负相关关系 ( $r = -0.893, p = 0.016$ ), 也就是说随着降水量增加, 叶片 P 含量呈增加趋势, 而叶片 N/P 呈下降趋势. 但是叶片 N 含量与多年降水的相关性较弱 ( $r = -0.693, p = 0.127$ ). 北方典型荒漠及荒漠化地区各研究区多年平均温度和植物叶片 N、P 含量以及 N/P 没有明确相关性



1、2、3、4、5、6 分别代表准噶尔盆地、塔里木盆地、阿拉善高原、毛乌素沙地、科尔沁沙地、浑善达克沙地；箱线图上方字母相同，表示不同研究区之间无显著差异，字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ )；箱线图内的虚线表示平均值的位置

图 4 不同研究区植物叶片 N、P 含量及 N/P 的比较

Fig. 4 Comparisons of leaf N, P and N/P among different research sites

( $p > 0.05$ ), 见图 5。

### 3 讨论

为了更进一步说明北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷含量的分布特征,对北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶片氮磷含量与其他相关研究区的植物叶片氮磷含量进行了比较(图 6)。结果显示中国北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶

片 N 含量显著高于其它研究中植物叶片氮含量 ( $p < 0.001$ ),说明北方典型荒漠及荒漠化地区植物具有相对较高的叶片 N 含量,这一结论证实了干旱荒漠环境植物叶片平均 N 含量相对较高的假说<sup>[15]</sup>。尽管如此,但是本研究中植物叶片氮含量平均值仍然明显小于 Skujins<sup>[16]</sup>报道的干旱荒漠区植物叶片 N 含量平均值 ( $> 30 \text{ mg/g}$ )。这在其他的研究报道也得到证实,Killingbeck 等<sup>[17]</sup>通过研究不同干旱荒漠区域 78 种植物叶片 N 含量发现,叶片 N 含量的平均值为  $22.0 \text{ mg/g}$ ,  $< 30 \text{ mg/g}$ 。

北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶片 P 含量的平均值为  $(1.74 \pm 0.88) \text{ mg/g}$ ,与 Elser 等<sup>[18]</sup>基于全球 398 种植物的测定结果接近,但是明显大于 Han 等<sup>[13]</sup>、任书杰等<sup>[9]</sup>和 Reich 等<sup>[8]</sup>的分别基于中国 753 种植物、中国东部南北样带 654 种植物和全球 1 251 种植物的研究结果。由于中国土壤磷含量低于全球平均水平,这被认为是基于中国区域或中国东部南北样带植物叶片磷含量相对较低的形成原因<sup>[13]</sup>。但是研究报道指出中国土壤磷含量变异幅度较大,从湿润区向干旱半干旱区呈增加趋势<sup>[19]</sup>,说明在中国区域内干旱半干旱区土壤具有相对较高的土壤磷含量,这可能是本研究中植物叶片 P 含量明显大于 Han 等<sup>[13]</sup>和任书杰等<sup>[9]</sup>研究结果的主要原因。

北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 N/P 平均值与 Han 等<sup>[13]</sup>、任书杰等<sup>[9]</sup>和 Reich 等<sup>[8]</sup>报道的结果基本相近,但是显著小于 Elser 等<sup>[18]</sup>基于全球 298 种植物的研究结果,原因可能是本研究中植物叶片 N 含量较高造成的。植物的 N/P 是反映环境中养分制约的重要指标。研究表明,当  $N/P < 14$  时,群落水平上的植物生长主要受 N 限制;而  $N/P > 16$  时,植物生长主要受 P 限制<sup>[20]</sup>。本研究 214 种植物中,有 87 种植物的叶片  $N/P > 16$ ,但是有 99 种植物的叶片  $N/P < 14$ 。根据这一结果,很难就典型荒漠及荒漠化地区植物受 N 或 P 限制做出判断,原因可能是不同研究区叶片 P 含量之间的差异造成的。本研究中虽然不同研究区叶片 N 含量无显著差异,但 P 含量差异显著,造成叶片 N/P 在不同研究区之间存在显著差异(图 4)。其中分布在塔里木盆地、准噶尔盆地以及阿拉善高原的大部分植物叶片  $N/P > 16$ ,而分布在科尔沁沙地的大部分植物叶片  $N/P < 14$ ,说明不同研究区的养分限制不同。但是,影响植物 N/P 化学计量特征的因素是复杂和综合的,不同群落的养分限制性大小受众多因素所控制,并且植物元素

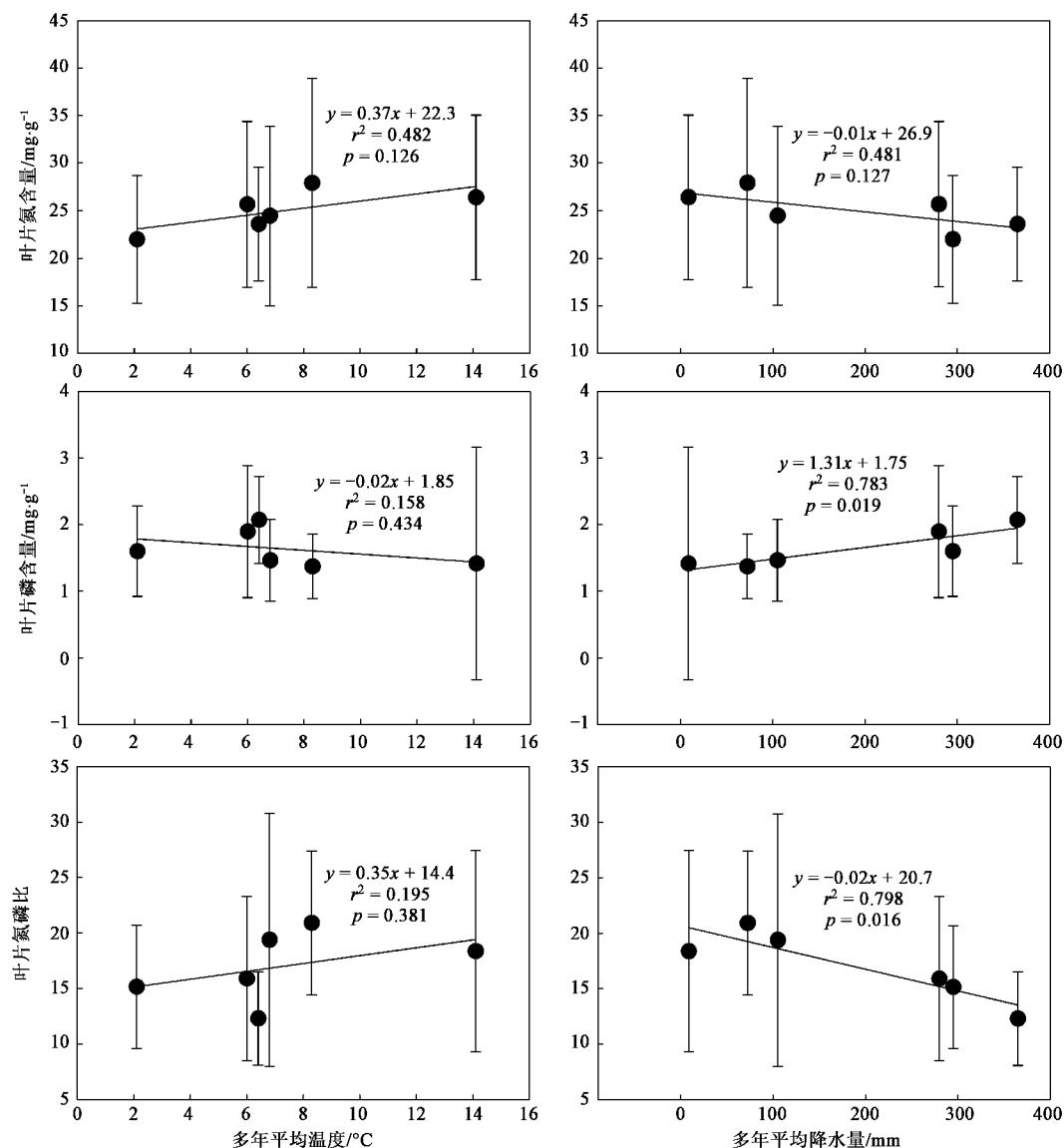


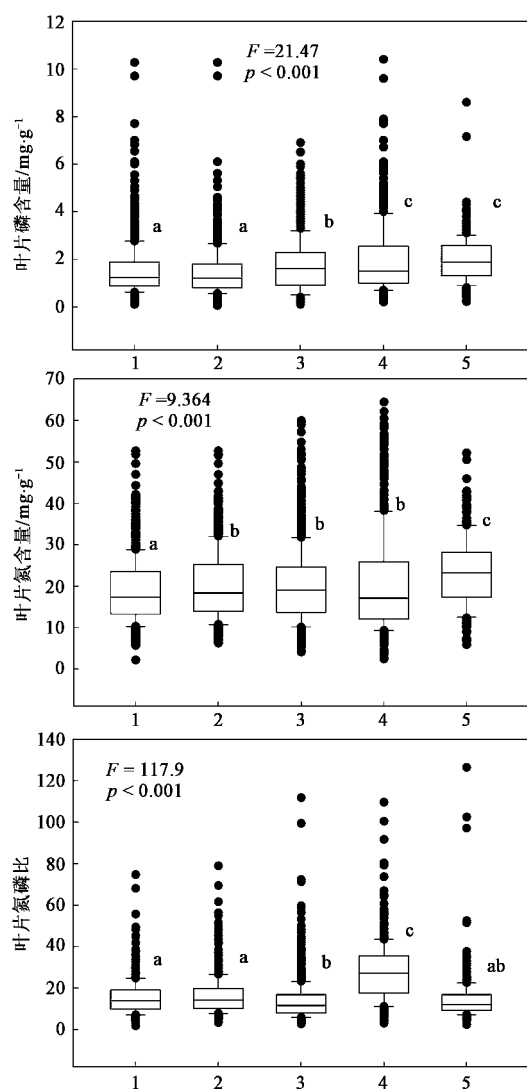
图5 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 N、P 含量及 N/P 与年均降水量和年均温度之间的关系

Fig. 5 Relationships of leaf N, P, and N/P with annual mean temperature and precipitation in typical desert and desertified regions of northern China

之间互相影响,使氮磷化学计量比更加复杂. 相关分析显示,北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷含量之间存在显著的正相关关系 ( $p < 0.001$ ),见图 7. 目前,较低的 N/P 指示植物生长主要受氮素限制已基本得到了普遍认可,而对于较高和中等水平的 N/P 究竟能否反映植被生产力受到磷素的限制,目前还没有一致性的结论,有些研究认为高的 N/P 意味着植被生产力主要受磷素限制<sup>[21]</sup>,而有些研究认为受到磷和氮的共同限制<sup>[22]</sup>. 由此可见,通过植物 N/P 评价植物生产具体受到哪种养分的限制尚需要借助其他的辅助手段进行判断.

不同生活型或分类群植物在影响生态系统功能

上存在差异,这种差异体现在植物生活史、形态、生理等多个方面. 许多研究发现,不同功能群或分类群植物叶片的某些性状存在显著差异<sup>[23-26]</sup>,这种差异通常被解释为植物遗传特性或适应环境的结果. 北方典型荒漠及荒漠化地区乔木、灌木、禾本科植物以及非禾本科植物等生活型之间的叶片 N、P 含量 N/P 差异均达极显著水平 ( $p < 0.001$ ),见图 3,表明不同生活型植物对环境的适应能力明显不同,所表现出的养分适应策略差异较大. Wright 等<sup>[27]</sup> 报道,草本植物与灌木和乔木植物比较,单位质量叶氮含量较高. 但是在本研究中,非禾本科植物叶 N 含量与灌木植物叶片 N 含量并没有显著差异,但均显



1、2、3、4、5 分别表示南北样带<sup>[9]</sup>、全国<sup>[13]</sup>、文献[8]、文献[18]、北方典型荒漠及荒漠化地区(本研究)的数据;箱线图上方字母相同,表示互相之间无显著差异,字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ )

图6 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 N、P 含量及 N/P 与其它研究成果比较

Fig. 6 Comparisons of leaf N, P, and N/P of desertified regions in northern China with other studies

著大于乔木植物和禾本科植物叶 N 含量(图 3)。Aerts<sup>[15]</sup>也证实,禾本科植物具有相对较小的叶片 N 含量和 P 含量,并且本研究中只有非禾本科植物的 P 含量显著较高( $p < 0.001$ ),其他生活型植物叶片 P 含量无显著差异。说明不同生活型植物的资源利用对策随植被类型及地理分布不同存在较大变异。

植物叶片 N、P 含量以及 N/P 的变异通常被解释为植物遗传特性或适应环境的结果,但是叶片的 N、P 含量以及 N/P 在大尺度尤其是全球尺度

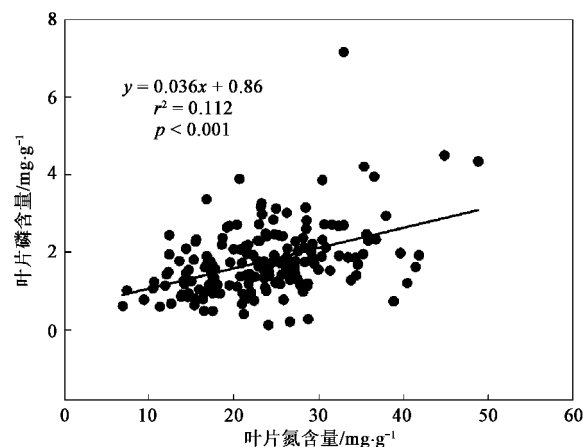


图7 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 N、P 含量之间的关系

Fig. 7 Relationships of leaf N, P in plants from typical desert and desertified regions of north China

上表现出一定的变化规律。Reich 等<sup>[8]</sup>分析了已发表文献中全球 452 个样点 1 280 种植物叶片的 N、P 及 N/P 分布与纬度和温度的关系,研究表明,随着平均温度降低,叶片 N、P 含量显著增加,而 N/P 显著降低; Han 等<sup>[13]</sup>对我国 753 种陆生植物的研究表明,叶片 N、P 含量随着温度降低而显著增加,但 N/P 与温度变化没有明显的相关性。郑淑霞等<sup>[10]</sup>研究发现黄土高原地区 126 个植物样品的叶片 N、P 含量与温度和降雨量均无明显的相关性,而 N/P 比值随着温度和降雨量的减少而明显增加。北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片 N、P 含量以及 N/P 与各研究区年平均温度没有明确相关性( $p > 0.05$ ),这与上述的研究报道不一致。原因可能是相对于全国乃至全球尺度,北方典型荒漠及荒漠化地区空间尺度变化较小引起的。另外的原因可能是本研究中用多个气象观测站的平均值来反映每个研究区域的温度状况,这种处理方法在一定程度上掩盖了研究区内的温度变异。但是研究结果表明,各研究区多年平均降水与叶片 P 含量以及 N/P 分别呈显著正相关( $r = 0.885, p = 0.019$ )和负相关( $r = -0.893, p = 0.016$ )关系。说明在北方沙漠化地区,由于水分是植物生长的首要限制因素,因此植物可能通过调控对养分的利用对策以适应水分的制约。

#### 4 结论

(1) 北方典型荒漠及荒漠化地区 214 种植物叶片 N 含量的平均值为  $(24.45 \pm 8.1)$  mg/g, 叶片 P 含量的平均值为  $(1.74 \pm 0.88)$  mg/g, 叶片氮磷比

平均值  $15.77 \pm 7.5$ . 与全球、全国以及区域尺度的研究结果相比,典型荒漠及荒漠化地区植物具有相对较高的叶片 N 和 P 含量,但叶片 N/P 具有保守性的特点,即保持相对稳定.

(2) 北方典型荒漠及荒漠化地区不同生活型植物叶片 N、P 含量 N/P 之间存在显著差异,灌木植物和非禾本科植物具有相对较高的叶片 N 含量;非禾本科植物具有相当较高的叶片 P 含量;灌木植物叶片 N/P 相对偏高,说明不同生活型植物具有不同的养分利用策略.

(3) 北方典型荒漠及荒漠化地区科尔沁沙地和毛乌素沙地植物叶片 P 含量较高. 塔里木盆地、准噶尔盆地以及阿拉善高原的大部分植物叶片 N/P > 16, 科尔沁沙地的大部分植物叶片 N/P < 14, 说明不同研究区的土壤养分有效性存在差异.

(4) 北方典型荒漠及荒漠化地区叶片 P 含量随着降水量增多呈增加趋势,叶片 N/P 呈下降趋势. 但叶片 N 含量随降水增多无趋势性变化.

#### 参考文献:

- [1] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, **28**(8): 3937-3947.
- [2] Niklas K J. Plant allometry, leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry, and interspecific trends in annual growth rates [J]. Ann Bot, 2006, **97**(2): 155-163.
- [3] He J S, Fang J Y, Wang Z H, et al. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China[J]. Oecologia, 2006, **149**(1): 115-122.
- [4] Hedin L O. Global organization of terrestrial plant-nutrient interactions[J]. Proc Natl Acad Sci, 2004, **101**: 10849-10850.
- [5] He J S, Wang L, Flynn D F B, et al. Leaf nitrogen: phosphorus stoichiometry across Chinese grassland biomes [J]. Oecologia, 2008, **155**(2): 301-310.
- [6] Aragao D V, Fortini L B, Mulkey S, et al. Correlation but no causation between leaf nitrogen and maximum assimilation: The role of drought and reproduction in gas exchange in an understory tropical plant *Miconia ciliata* (Melastomataceae) [J]. Am J Bot, 2005, **92**(3): 456-461.
- [7] Coste S, Roggy J C, Imbert P, et al. Leaf photosynthetic traits of 14 tropical rain forest species in relation to leaf nitrogen concentration and shade tolerance [J]. Tree Physiol, 2005, **25**(9): 1127-1137.
- [8] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude [J]. Proc Natl Acad Sci, 2004, **101**(30): 11001-11006.
- [9] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 等. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(12): 2665-2673.
- [10] 郑淑霞, 上官周平. 黄土高原地区植物叶片养分~ 的空间分布格局[J]. 自然科学进展, 2006, **16**(8): 965-973.
- [11] Wang T. Progress in sandy desertification research of China[J]. J Geogr Sci, 2004, **14**(4): 387-400.
- [12] 董光荣, 靳鹤龄. 中国北方半干旱和半湿润地区沙漠化的成因[J]. 第四纪研究, 1998, **2**: 136-144.
- [13] Han W X, Fang J Y, Guo D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. New Phytol, 2005, **168**(2): 377-385.
- [14] 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [15] Aerts R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns? [J]. J Ecol, 1996, **84**(4): 597-608.
- [16] Skujins J. Nitrogen cycling in arid ecosystems [A]. In: Clark F E, Roswall T (eds). Terrestrial nitrogen cycles, Ecological Bulletin [C]. Stockholm, 1981. 477-491.
- [17] Killingbeck K T, Whitford W G. High foliar nitrogen in desert shrubs: An important ecosystem trait or defective desert doctrine [J]. Ecology, 1996, **77**(6): 1728-1737.
- [18] Elser J J, Fagan W, Denno R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs [J]. Nature, 2000, **408**: 578-580.
- [19] 汪涛, 杨元合, 马文红. 中国土壤磷库的大小、分布及其影响因素[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, (6): 945-952.
- [20] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. J App Ecol, 1996, **33**(6): 1441-1450.
- [21] Wardle D A, Walker L R, Bardgett R D. Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences [J]. Science, 2004, **305**(5683): 509-513.
- [22] Gusewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance [J]. New Phytol, 2004, **164**(2): 243-266.
- [23] Sterck F J, Poorter L, Schieving F. Leaf traits determine the growth-survival trade-off across rain forest tree species [J]. Am Nat, 2006, **167**(5): 758-765.
- [24] Poorter L, Bongers F. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species [J]. Ecology, 2006, **87**(7): 1733-1743.
- [25] Rozendaal D M A, Hurtado V H, Poorter L. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light: relationships with light demand and adult stature [J]. Func Ecol, 2006, **20**(2): 207-216.
- [26] Khaled R A H, Duru M, Theau J P, et al. Variation in leaf traits through seasons and N-availability levels and its consequences for ranking grassland species [J]. J Veg Sci, 2005, **16**(4): 391-398.
- [27] Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum [J]. Nature, 2004, **428**(6985): 821-827.