黑河中游湿地植物区系及土壤有机碳分布特征

赵锐锋[1]，张丽华[2]，赵海莉[1]，姜朋辉[1]

（1. 西北师范大学地理与环境科学学院，兰州 730070；
2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所皋兰生态与农业综合试验站，兰州 730000）

摘要：运用植物学、土壤学方法，结合野外实地调查、取样，对黑河中游湿地植物区系、生态特征和土壤有机碳（soil organic carbon，SOC）在不同植被类型的分布特征进行分析研究。结果表明：调查的黑河中游湿地共有 84 种植物，隶属于 32 科 70 属。其中，菊科、禾本科的种类最多，占所有植物种类的 29.77%. 植物区系地理成分以温带分布型为主，多年生草本为植物的主要生活型。高草、低草、木本植被类型的 SOC 含量依次降低，在 0～20 cm 土层的差异达到显著水平（$P<0.05$）。SOC 的空间变异以低草植被类型最大，木本植被居中，高草植被最小。高草、低草和木本植被 0～40 cm SOC 密度分别为 7.33，5.44，4.25 kg/m^2. 高草、低草植被 0～10 cm 土层 SOC 含量更高，分别占 0～40 cm 总量的 32%和 31%. 木本植被以 10～20 cm 最高，占 0～40 cm 总量的 33%.

关键词：植物学；干旱区湿地；植物区系；土壤有机碳；碳密度；黑河
中图分类号：Q948.15　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-2850(2013)05-0462-06

Flora components and distribution of soil organic carbon of the wetlands in the middle reaches of the Heihe river

ZHAO Ruifeng[1], ZHANG Lihua[2], ZHAO Haili[1], JIANG Penghui[1]

(1. *College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou* 730070, *China*;
2. *Gaolan Experiment Station for Ecology and Agriculture Research, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: The flora components, ecological characteristics and distribution of soil organic carbon (SOC) at different vegetation types in the wetland of the middle reaches of the Heihe river were studied using botany and pedology methods together with field investigation and sampling. The results showed that there were 84 plant species in the wetland of the middle reaches of the Heihe river, which belonged to 32 families and 70 genera. The species of compositae and gramineae were dominant, occupying 29.77% of the total species. Most of geographic elements of the flora embodied the feature of temperate zone. The perennial herbs were the main part of wetland plants. The content of SOC at was in the order of high herb wetland vegetation＞lower herb wetland vegetation＞woody wetland vegetation, and the difference was significant at 0-20 cm soil depth ($P<0.05$). The coefficient of variation of SOC was greateast at the lower herb wetland vegetation, middle at woody wetland vegetation and smallest at high herb wetland vegetation. The soil carbon density at 0-40 cm depth was 7.33, 5.44, 4.25 kg/m^2 at high herb wetland vegetation, lower herb wetland vegetation and woody wetland vegetation, respectively. At the high herb and lower herb wetland vegetation, the SOC contents were more concentrated at the 0-10 cm depth, which accounted for 32% and 31% of the total at 0-40 cm depth. While the SOC content was larger at the soil depth of 10-20 cm (accounting for 33%) at the woody wetland vegetation.

Key words: botany; wetlands in the arid region; flora components; soil organic carbon; carbon density; Heihe river

---

基金项目：国家自然科学基金（41261047，41201196）；高等学校博士学科点专项科研基金（20106203120004）；西北师范大学青年教师科研能力提升计划骨干项目（NWNU-LKQN-11-11）
作者简介：赵锐锋（1976—），男，副教授，主要研究方向：土地利用及资源环境变化. E-mail：zhaoruifeng@126.com

0 引言

湿地是地球上水陆相互作用形成的独特生态系统，是重要的生存环境和自然界最富生物多样性的生态景观之一。近年来，在全球变化及人类活动的影响下，湿地面积萎缩，生境破碎化，生物多样性下降，导致湿地功能效益减弱，退化态势加剧[1~2]。黑河中游湿地位于我国西北内陆干旱区，是自然形成的多类型、多层次的复杂生态系统，是我国候鸟三大迁徙的西部路线之一，更是遏制巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠合拢的天然生态屏障[3]。然而，伴随人工绿洲建设，人类对地表水资源截留、利用和地下水资源的引提增加，湿地生态系统越来越受制于人类活动，湿地面积减少，生物多样性及生态功能明显退化[4]。因此，阻止生物多样性降低，恢复湿地功能成为亟待解决的关键问题之一。

然而，目前针对黑河中游湿地的研究规模较小，主要集中在湿地资源分布[5]、生态功能评价[4~6]、动物物种多样性[7]等。关于黑河中游湿地植物区系、SOC 特征的研究鲜见报道，因而在一定程度上阻碍了湿地生物多样性保护及其功能的恢复。为此，该研究选择黑河中游湿地作为研究区域，通过野外调查和采样分析，研究黑河中游湿地植物区系组成、生态特征及 SOC 的分布规律，为干旱区湿地植物资源保护和退化湿地生态系统的修复提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于黑河中游，行政区划上包括张掖市所属的甘州区、高台县、临泽县，流域地势南高北低，黑河贯穿全境，自西南流向东北（如图 1 所示）。研究区深居内陆，属于典型的温带大陆性气候，干旱少雨并蒸发强烈，年均降水量 50～250 mm，年均蒸发量 2 000～3 500 mm，年平均温度 6～8℃，年日照时数 3 000～4 000 h. 土壤类型主要是灰棕荒漠土和荒漠土，除此之外，还有灌淤土、盐土、潮土、风沙土等非地带性土壤。植被类型主要为温带荒漠植被，以菊科、豆科、禾本科、藜科、蓼科等为主。分布有河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地、沟渠、水库、坑塘等湿地类型。

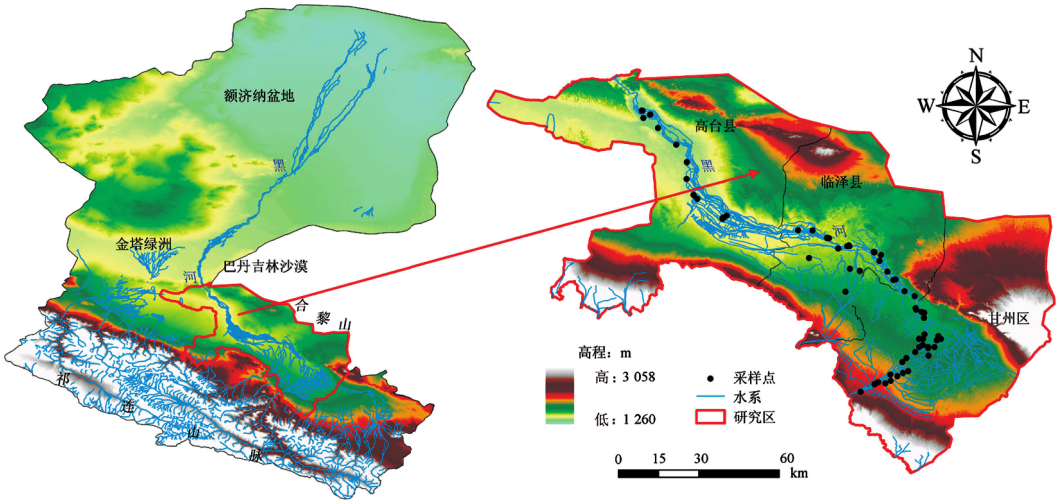


图 1 研究区位置及样地分布

Fig. 1 Location of the study area and the sampling plots

2 研究方法

2011 年 7 月至 8 月对黑河中游湿地植被进行全面综合考查，在了解该区植被沿河、沿湖等湿地空间分布状况的基础上，在湿地及其周边选取其中 42 个典型样地，随机布设样方，乔木和灌木样地各取 1～2 个样方，草本样地取 2～4 个样方（如图 1 所示）。样方面积为乔灌木 30 m×30 m、草本 1 m×

1 m. 为便于统计乔灌木样方，将 30 m×30 m 样方划分为 4 个 15 m×15 m 的小样方，在 15 m×15 m 的小样方中按梅花桩设置 5 个 1 m×1 m 的草本样方。在样方内记录描述样地的基本状况，如纬度、经度、海拔、湿地类型及其距河道距离等，以及群落学特征，如物种种类、数量、株高、冠幅、盖度、群落分层结构状况等。

采用土钻法采集土样，沿样方对角线均匀采集 0～10，10～20，20～40 cm 土样 3 个，经均匀混合从中取 1 个 1 kg 的土壤混合样进行实验室分析。将风干后的土壤样品做研磨过筛处理，采用常规方法测定土壤理化性质。其中，采用 $K_2Cr_2O_7$ 外加热容量法测定土壤有机质含量。土壤样品采集的同时，利用环刀法测定土壤容重、土壤水分含量。

根据群落建群种茎的木质相对含量，植被分为木本植被类型和草本植被类型。进一步根据群落建群种、优势种的平均高度将草本植被类型划分为高草植被（高于 60 cm）和低草植被（低于 60 cm）[8]。其中，木本植被类型包括沙枣（*Elaeagnus angustifolia*）群落、线叶柳（*Salix wilhelmsiana*）群落、密花柽柳（*Tamarix arceuthoides*）群落、多枝柽柳（*T. ramosissima*）群落。高草植被类型包括芦苇（*Phragmites communis*）群落、香蒲（*Typha orientalis*）群落、水葱（*Scirpus validus*）群落、菖蒲（*Acorus calamus*）群落、皱叶酸模（*Rumex crispus*）群落。低草植被类型包括无芒稗（*Echinochloa crusgalli*）群落、芨芨草（*Achnatherum splendens*）群落、水莎草（*Juncellus serotinus*）群落、鹅绒委陵菜（*Potentilla anserina*）群落、扁杆藨草（*Scirpus planiculmis*）群落、蒲公英（*Taraxacum officnala*）＋披碱草（*Elymus dahuricus*）群落、灰绿藜（*Chenopodium glaucum*）群落、酸模叶蓼（*Polygonum lapathifolium*）群落等。

3 结果与分析

3.1 植物区系特征

3.1.1 植物区系基本组成

在黑河中游湿地 42 个植物调查样地中，共记录到植物 32 科 70 属 84 种，其中，蕨类植物 1 科 1 属 1 种，单子叶植物 9 科 22 属 26 种，双子叶植物 22 科 47 属 57 种。以菊科种类最多，为 13 种，占种组成的 15.48%；其次为禾本科，共 12 种，占种组成的 14.29%；然后依次为莎草科（7 种）、豆科（6 种）、藜科（6 种）和柽柳科（4 种）等。各科植物中有 19 科为 1 科 1 属 1 种，占总科数的 59.37%，说明研究区湿地植被不是以某一个或几个科植物占主导。与半干旱区的四儿滩湿地[9]、干旱区的艾里克湖湿地[10]和塔里木河中下游湿地[11]相比，黑河中游湿地植物物种更为丰富。

物种组成中草本植物占绝对优势，共 71 种，占总种数的 84.52%. 其中，一年生草本 24 种，多年生草本 43 种，一年生或多年生草本植物 4 种。乔木（含小乔木）只有 3 种，灌木 7 种，半灌木 2 种。湿地生态系统具有特有的水陆交替特点，生长于其中的物种所承受的自然扰动压力更大，对生存能力要求更严。若地下水位波动的幅度较小（或极端情况为期很短），不会驱使植物区系发生变化，植被由多年生植物组成，比较稳定。反之，在季节性或波动性湿地，则以一年生或短命植物为代表。

植被的水分生态型以湿生或水生植物占优势，有 44 种，占总种数的 52.38%；中生植物 32 种，占 38.10%；旱生植物 8 种。湿生或水生植物占优势，表明黑河中游湿地的水分条件优越。而中生植物占据较高的比例，与研究区的温带干旱气候紧密联系。

3.1.2 植物区系地理成分

根据中国种子植物属的分布区类型[12]，在调查区域内，种子植物属的分布区可划分为 9 个类型、2 个亚型，其中温带分布和世界分布的比例较大，分别占总属数的 49.28%和 30.43%（如表 1 所示）. 另根据文献[13]，调查区域的湿地蕨类植物节节草（*Equisetum ramosissimum*）所属的木贼属（*Equisetum*）是北半球寒带及温带地区分布属。因此，组成黑河中游湿地植被的植物种类在地理分布上与亚洲中部温带地区关系较为密切。

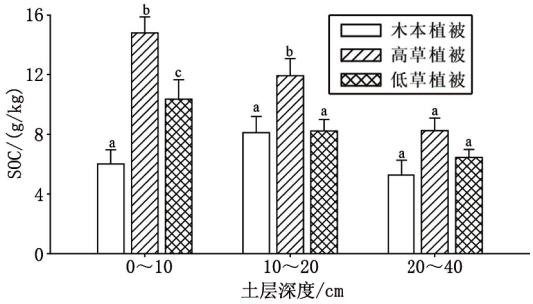
表 1 黑河中游湿地种子植物的分布区类型

Tab. 1 Generic aecol-types of seed plants of the wetlands in the middle reaches of the Heihe river

分布区类型	属数/个	占总属数/%
世界分布	21	30.43
泛热带分布	6	8.70
热带亚洲和热带美洲间断分布	1	1.45
北温带分布	21	30.43
北温带和南温带（全温带）间断分布	3	4.35
东亚和北美间断分布	2	2.90
旧世界温带分布	9	13.04
欧亚和南非洲（有时也在大洋洲）间断分布	1	1.45
地中海区、西亚至中亚分布	2	2.90
地中海区至温带、热带亚洲，大洋洲和南美洲间断分布	1	1.45
中亚分布	1	1.45
东亚分布	1	1.45
总数	69	100

3.2 SOC 的分布规律

0～10，10～20 和 20～40 cm SOC 含量的大小依次为高草植被＞低草植被＞木本植被（如图 2 所示），3 种湿地植被类型间 0～10，10～20 cm SOC 含量差异显著（$P<0.05$）。除木本植被亚表层（10～20 cm）SOC 高于表层（0～10 cm）土壤外，2 种草本植被类型的 SOC 随土层深度的增加而减少。3 种湿地植被类型 SOC 含量随土层的变化幅度为木本植被最高、高草植被居中，低草植被最低。草本植物通过地表凋落物和地下根系残体回归土壤更多的半分解产物，使草地具有更高的颗粒有机碳含量并转化为更多的矿物结合态有机碳。李忠武等[14]也得出红壤丘陵区草地 SOC 含量高于松林和荒地，草本生物量对坡地土壤砂粒有机碳的影响较大。因此，草本植被类型较木本植被类型具有更高的 SOC 含量。与低草植被类型相比，高草植被类型 SOC 含量更高可能与其较高的植物生物量、较多的植物残体提供土壤碳源有关。



注：同一土层深度下字母 a，b，c 不同表示差异显著（$P<0.05$）

图 2 不同湿地植被类型 SOC 垂直分布特征

Fig. 2 Vertical distribution of SOC at different wetland vegetation types

不同湿地植被类型间的 SOC 含量具有一定的差异，同一植被类型内 SOC 亦存在较大空间变异。以 0～10 cm 土层为例，木本植被类型在 4.35～9.50 g/kg 之间，高草植被在 8.85～20.42 g/kg 之间，低草植被的变化范围为 2.28～29.55g/kg（如表 2 所示）. 低草植被有机碳的变异系数最大，达 65.39%；高草植被相对最小，在 22.95%～32.06%之间。仅高草植被类型 0～10 cm SOC 与 20～40 cm 存在显著差异。

表 2 不同湿地植被类型随土层深度的 SOC 统计分析

Tab. 2 Statistical analysis of distribution of SOC with depth in different wetland vegetation types

湿地植被类型	土层深度/cm	SOC 含量/(g/kg)	SOC 最小值/(g/kg)	SOC 最大值/(g/kg)	标准差	变异系数/%
木本植被	0～10	6.01±0.95^{a}	4.35	9.50	2.13	35.37
	10～20	8.10±1.09^{a}	4.01	10.56	2.44	30.11
	20～40	5.26±1.0^{a}	3.24	8.99	2.24	42.53
高草植被	0～10	14.80±1.07^{a}	8.85	20.42	3.40	22.95
	10～20	11.93±1.14^{ab}	6.16	17.22	3.62	30.33
	20～40	8.25±0.84^{b}	4.66	12.08	2.64	32.06
低草植被	0～10	10.35±1.30^{a}	2.28	29.55	6.77	65.39
	10～20	8.23±0.76^{a}	3.11	22.24	3.97	48.30
	20～40	6.44±0.54^{a}	2.64	12.90	2.79	43.32

注：总样地数为 42（木本植被样地数为 5 个，高草植被为 10 个，低草植被为 27 个）；SOC 数据为 X±SD，同一类型下字母 a，b 不同表示差异显著（$P<0.05$）

3.3 SOC密度特征

与SOC含量一致，不同湿地植被类型中，0～10，10～20，20～40，0～40 cm SOC密度均以高草植被类型最高、木本植被最低、低草植被居中（如图3a所示）。研究区湿地0～40 cm SOC密度分别为高草植被7.33 kg/m²、低草植被5.44 kg/m²、木本植被4.25 kg/m². 3种植被类型0～40 cm SOC储量的比例相似（如图3b所示）。例如，木本植被以10～20 cm所占比例最高，为32.51%；高草、低草植被0～10 cm的比例最高，分别为32.15%，31.11%. 这与黑河中游湿地植被地下生物量在土壤剖面中的分布差异有关。

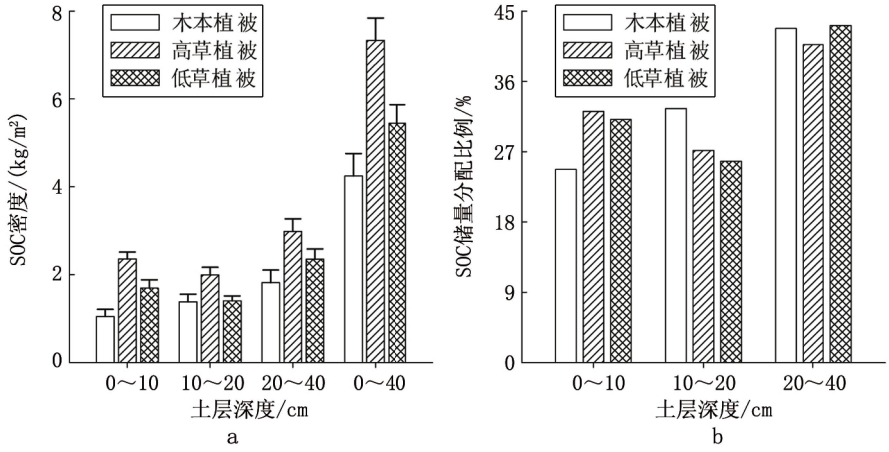


图3 不同湿地植被类型SOC密度及其分配比例

Fig. 3 SOC density and distribution proportion at different soil layers at different wetland vegetation types

a－SOC密度；b－SOC储量分布比例

a-SOC density; b-SOC distribution proportion

4 讨论与结论

黑河中游湿地42个植物调查样地中，共记录到植物32科70属84种，以菊科、禾本科种类最多，占总组成的29.77%，其中19科为1科1属1种，表明黑河中游湿地植物科和属的多样性比较丰富，但并不是以某一个或几个科的植物占主导。草本植物占绝对优势，其中，多年生草本种类为60.56%，这主要是植物受环境影响及其对生境的适应性而产生的非地带性分布特征。植被水分生态型以湿生或水生植物为主，表明黑河中游湿地的水分条件优越。黑河中游湿地植物区系具有较高的温带分布型比例，说明区系的温带性质。

高草、低草、木本植被0～40 cm SOC含量逐渐降低，这与地表凋落物和地下根系残体回归土壤、为土壤提供碳源的多少有关。不同植被类型间SOC含量具有一定的差异，同一植被类型内SOC亦存在较大空间变异，反映出湿地生境多样性、植物多样性与土壤养分异质性的趋同性。SOC密度与SOC含量在植被类型间的分布特征一致。木本植被以10～20 cm SOC密度占0～40 cm总储量比例最高（为32.51%），高草、低草植被均以0～10 cm的比例最高（分别为32.15%，31.11%），表明3种湿地植被的最大根系生物量在土壤剖面中的分布可能不同。

[参考文献] (References)

[1] GIBBS J P. Wetland loss and biodiversity conservation[J]. Conservation Biology, 2000, 14(1): 314-317.

[2] STOATE C, BáLDI A, BEJA P, et al. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe: a review[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 91(1): 22-46.

[3] 周全民，魏德胜. 实施黑河流域湿地保护工程要处理好六大关系[J]. 湿地科学与管理，2010，6 (1)：59-60.

ZHOU Q M，WEI D S. The implementation of wetlands protection project needs to deal with six relations in Heihe river basin[J]. Wetland Science and Management，2010，6(1)：59-60.（in Chinese）

[4] 王清忠，牛赟. 基于层次分析法的张掖市湿地生态功能研究[J]. 山地学报，2007，25（5）：584-589.
WANG Q Z，NIU Y. Based on AHP to study the ecological function of wetland in Zhangye，Gansu[J]. Journal of Mountain Science，2007，25(5)：584-589.（in Chinese）

[5] 孟好军，贾永礼，刘贤德，等. 黑河流域湿地资源分布特征[J]. 湿地科学，2011，9（1）：89-93.
MENG H J，JIA Y L，LIU X D，et al. Distribution characteristics of wetland resources in Heihe river basin[J]. Wetland Science，2011，9(1)：89-93.（in Chinese）

[6] 张晓琴，石培基，潘竟虎，等. 黑河中游湿地生态旅游资源开发模式研究-以张掖市为例[J]. 中国沙漠，2010，3（3）：625-672.
ZHANG X Q，SHI P J，PAN J H，et al. Model of ecotourism exploration of Zhangye wetland in middle reaches of Heihe river[J]. Journal of Desert Research，2010，3(3)：625-672.（in Chinese）

[7] 包新康，刘迺发，郭秉堂，等. 甘肃黑河内陆河湿地自然保护区候鸟多样性[J]. 动物学杂志，2012，47（2）：59-66.
BAO X K，LIU N F，GUO B T，et al. Bird species diversity in Heihe inland river nature reserve[J]. Chinese Journal of Zoology，2012，47(2)：59-66.（in Chinese）

[8] 上官铁梁，张峰，张金屯. 滹沱河流域湿地植被类型及保护利用对策[J]. 农业环境保护，2001，20（1）：59-61.
SHANGGUAN T L，ZHANG F，ZHANG J T. A preliminary study on type，utilization and protection of wetland vegetations Hutuo river valley[J]. Agro-Environmental Protection，2001，20(1)：59-61.（in Chinese）

[9] 王海星，张克斌，曹永翔，等. 西北半干旱区湿地生态系统植物群落多样性的研究[J]. 干旱区资源与环境，2010，24（5）：141-146.
WANG H X，ZHANG K B，CAO Y X，et al. Plant community diversity of wetland ecosystem in a semi-arid region of northwestern China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment，2010，24(5)：141-146.（in Chinese）

[10] 张江英，周华荣，高梅. 艾里克湖湿地植物群落特征指数与土壤因子的关系[J]. 生态学杂志，2007，26（7）：983-988.
ZHANG J Y，ZHOU H R，GAO M. Relationships between plant community characteristic index and soil factors in Alice lake wetland[J]. Chinese Journal of Ecology，2007，26(7)：983-988.（in Chinese）

[11] 李玉霞，周华荣. 干旱区湿地景观植物群落与环境因子的关系[J]. 生态与农村环境学报，2011，27（6）：43-49.
LI Y X，ZHOU H R. Relationship between wetland landscape plant communities and environment factors in arid zone[J]. Journal of Ecology and Rural Environment，2011，27(6)：43-49.（in Chinese）

[12] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究，1991，13（增）：1-139.
WU Z Y. The areal types of Chinese genera of seed plants[J]. Acta Botanica Yunnanica，1991，13(Suppl.)：1-139.（in Chinese）

[13] 吴兆洪，秦仁昌. 中国蕨类植物科属志[M]. 北京：科学出版社，1991.
WU Z H，QIN R C. Fern families and genera of China[M]. Beijing：Science Press，1991.（in Chinese）

[14] 李忠武，郭旺，王晓燕，等. 南方红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤有机碳分布特征及其与草本生物量的关系[J]. 应用生态学报，2012，23（4）：867-874.
LI Z W，GUO W，WANG X Y，et al. Effects of land use type on the distribution of organic carbon in different sized soil particles and its relationships to herb biomass in hilly red soil region of South China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2012，23(4)：867-874.（in Chinese）