

# Fe、Mn、Cu 在锡林河流域温带 草原植被中的含量特征

耿元波, 章申, 董云社\*, 孟维奇, 齐玉春, 杨小红, 刘立新

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 本文研究了 Fe、Mn、Cu 三个同周期的植物营养元素在内蒙古锡林河流域三个主要草原群落植被中的含量特征, 研究表明: 三个元素在凋落物及根系中的含量较高, 在立枯中较低, 在活体中最低; 沿降水、气温和海拔梯度, 活体、凋落物中的含量按贝加尔针茅草原、羊草草原、大针茅草原递减, Cu 例外, 在植物生长末期是递增的; 立枯中的元素含量在生长初期递增, 在后期递减, Cu 也例外, 初期和后期都是递增的; 在植物系统各组成部分中, 生长初期三个元素的含量要高于生长后期; 地上部植物体分解程度越高, 三个元素的含量也越高; Cu 强烈富集于根系中; 土壤及降水分别是影响植物元素含量及植物分解的重要因子; 三个元素在各草原群落地上部活体中的含量都能够满足牲畜的需要。

**关键词:** 草原植被; 营养元素; 地上活体; 立枯; 凋落物

文章编号: 1000-0585(2005)03-0379-08

Fe、Mn、Cu 同属化学元素表的第四周期, 是动植物必需的营养元素, 对植物来说, Fe 在叶绿素合成过程中有促进作用, 对植物体内的氧化还原过程起调节作用; Mn 参与叶绿素的形成, 在光合作用中起重要作用; Cu 参与植物体内的氧化还原作用, 能提高植物的呼吸强度。就动物来说, Fe 是血液中交换与输送氧气所必需的, 也是体内某些酶以及许多氧化还原体系所不可缺少的元素; Mn 在动物体内参与许多酶反应作用; Cu 是动物体内多种酶的组成成分, 这些酶能催化某些氧化还原反应进行<sup>[1,2]</sup>。这三个元素对于维持草地生态系统功能的正常发挥起着十分重要的作用, 本文就三个元素在草原植被中的含量分布特征进行探讨。

植物体从土壤中吸收营养元素, 随着植物从生长到死亡, 这些元素分别经历绿色活体、立枯及凋落物(地上部分), 活根、死根、凋落物(地下部分)几个阶段, 最后在分解作用下, 不断回归土壤, 再被植物所利用, 完成元素的生物地球化学小循环过程。营养元素在这个过程的不同宿体中的含量是各不相同的, 但又有着密切联系。Fe、Mn、Cu 在草本植物(绿色体青草)中的含量分别为 40~380mg/kg、10~350mg/kg、1~30mg/kg, Fe 和 Mn 含量相近, Cu 较低<sup>[2]</sup>, 但在土壤中 Fe 和 Mn 的含量则要高得多, 分别为 0.5~5%和 200~800mg/kg, Cu 与草本植物中差不多, 为 6~60mg/kg<sup>[2,3]</sup>。国内外研究草原

收稿日期: 2004-07-20; 修订日期: 2004-11-26

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB 412503)、中国科学院知识创新重大项目(KZCX1-SW-01-04)、中国科学院地理科学与资源研究所知识创新项目(CXIOG-E01-03-01 与 CXIOG-A00-06)

作者简介: 耿元波(1969-), 男, 新疆人, 博士, 副研。主要研究方向为草地生态系统植物营养元素的生物地球化学循环, 已发表论文 20 余篇。E-mail: gyb0741@sina.com

\* 通讯作者: 董云社(1961-), 博士, 研究员, 博士生导师。E-mail: dongys@igsrrr.c.cn

这三种植物营养元素在草原植被中的含量、分配与积累的文献较多<sup>[4~20]</sup>,多集中在植物地上部活体方面,立枯、凋落物及根系研究的较少,也多是元素的分布分配及动态来进行研究。土壤作为植物营养元素的主要来源地,有关的研究相当多,涉及草原土壤方面的主要集中在三种元素在土壤中的形态、分布、分配、积累及动态等的研究<sup>[21~26]</sup>。本文以内蒙古锡林河流域典型的草原群落为研究对象,揭示这三种元素在草原植物系统各组分(地上部活体、立枯、凋落物和根系)和土壤中分布分配的含量特征,探讨它们在系统各部分间的联系。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于内蒙古自治区锡林郭勒盟境内的锡林河流域(43°26′~44°39′N, 115°32′~117°12′E),区内草原植被约占总植被面积的89.7%,气候属温带半干旱大陆性气候,是中国最有代表性的温带典型草原区之一<sup>[27]</sup>。

在锡林河流域沿东南—西北的降水及海拔梯度线选择贝加尔针茅草原、羊草草原、大针茅草原三种草原群落为研究对象。贝加尔针茅草原群落属草甸草原,羊草草原和大针茅草原群落属典型草原,各采样地草原群落的生境特征见表1<sup>[28]</sup>。

表1 锡林河流域三种草原群落的生境特征

Tab. 1 The habitat characteristics of three grassland communities in the Xilin River Basin

草原群落	贝加尔针茅草原	羊草草原	大针茅草原
海拔(m)	1343	1265	1156
土壤	黑钙土	暗栗钙土	栗钙土
年降水量(mm)	369.2	350.8	335.0
年平均气温(°C)	-0.4	0.3	0.9
草原利用方式	打草场	围栏样地	围栏样地

注:年降水量及年均温据1960~1995年的气象资料获得

### 1.2 样品采集与测定

**1.2.1 样品的采集** 2000年5月和9月分二次对本区的贝加尔针茅草原、羊草草原和大针茅草原三种主要草原群落进行样品采集工作,5月植物刚刚萌发,地上生物量较小,立枯较多,9月地上部生物量最大,立枯较少,5月和9月对应着本地植物生长的初期和末期。三种草原群落草本植物占绝大多数,木本植物很少。贝加尔针茅草原采样地点为打草场,禁牧;羊草草原取样地点为中科院内蒙古草原生态系统定位研究站(以下简称定位站)的羊草草原围栏实验样地;大针茅草原取样地点为定位站的大针茅草原围栏实验样地,后两者围栏时间都在1979年。采集的主要样品为地上部植物体(活体、立枯、凋落物)及根系,地上部植物样品按1m×1m样方采集,一个样方内的活体、立枯和凋落物分别组成一个样品,10次重复,根系用大土钻(Ø10cm)分0~20cm,20~40cm,40~60cm三段采集,每10钻组成一个样品,5次重复。活体样品为当年生植物,立枯和凋落物样品为历年累积的立枯和凋落物。贝加尔针茅草原采样点为打草场,5月没有立枯可以采集,9月的立枯样品为当年生立枯,在9月初未打草前采集。

**1.2.2 样品制备与测定** 地上部活体、立枯和凋落物:用清水洗净,稍干,用白纸包好,放入鼓风恒温干燥箱中(65℃)烘48个小时,烘干后粗碎混匀,在不锈钢植物粉碎机中细碎至100目以下待测。

地下部根系:根系用35目尼龙网袋冲洗出来,清水漂洗干净,沥尽水分后盛入纸袋,在鼓风恒温干燥箱中(65℃)烘48个小时,烘干后粗碎混匀,在不锈钢植物粉碎机中细碎至100目以下待测。

Fe、Mn、Cu的测定:样品用HNO<sub>3</sub>、HClO<sub>4</sub>消化,用美国 Baird ICP-2070 型 ICP-AES 测定。平行样相对标准偏差小于5%,标样(GSV-3)测定值在标准值范围内,样品测试结果满足研究需要。

## 2 结果与讨论

### 2.1 Fe、Mn、Cu 在地上部活体中的含量特征

Fe、Mn、Cu 都是植物生长必需的微量营养元素,Fe 的含量一般较高,也常被列入常量营养元素中,研究区植物中 Fe 的含量要高出 Mn 和 Cu 一到两个数量级,三个元素的含量基本都在正常含量范围(见前文)以内,不属于短缺元素(图1)。在以往对草地营养元素的研究中,三种元素在地上部活体中的含量特征常有报道,立枯、凋落物和根系中含量特征报道较少,表2是中国部分草地类型地上部活体的研究结果。从表2中可以看出,由湿润的草地类型到干旱的草地类型,草地群落 Fe、Mn、Cu 的含量逐渐降低。就三个元素含量的相对大小来说,Fe 远高于 Mn 和 Cu, Mn 高于 Cu。

表2 草地群落地上部活体中 Fe、Mn、Cu 的含量(干重)

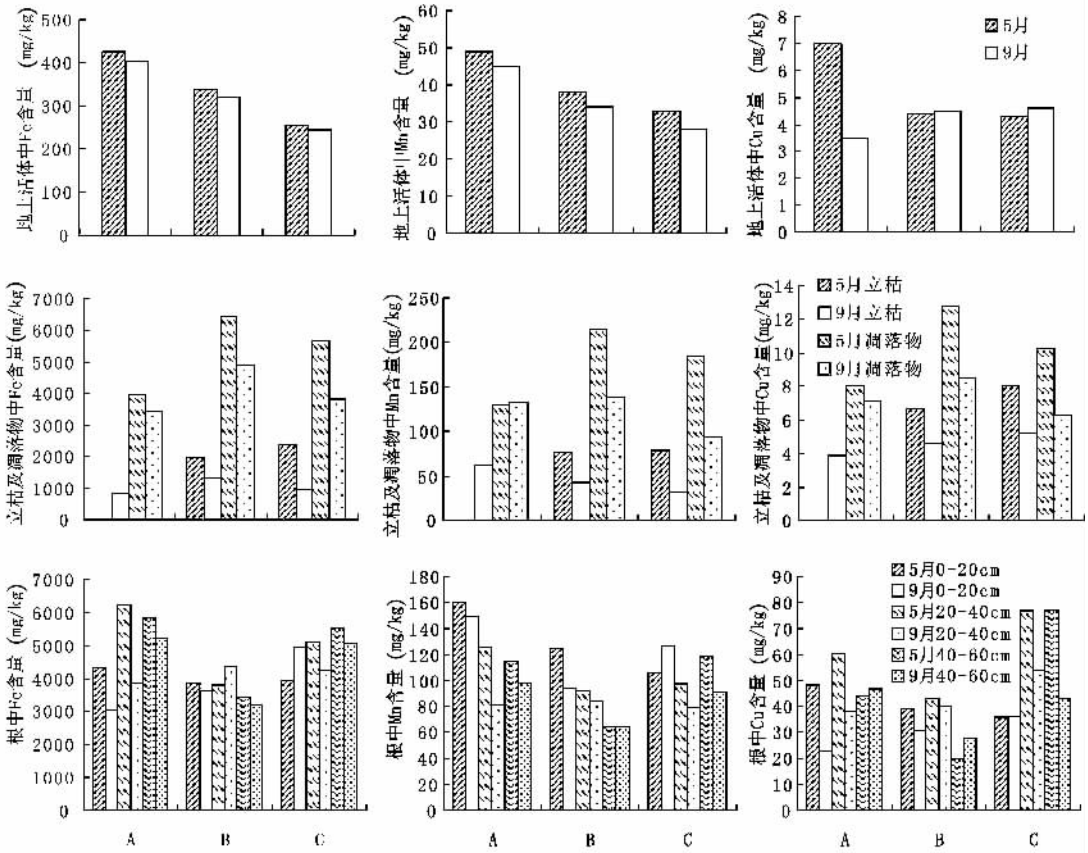
Tab. 2 The Fe, Mn and Cu contents of shoots in three grassland communities (dry weight)

草地类型	土壤类型	地区	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
草甸类 <sup>①</sup>	草甸土	五台山	—	90.38	12.06
典型草原类 <sup>②</sup>	栗钙土	锡林浩特	284	41.4	10.14
荒漠草原类	灰棕荒漠土	阿拉善	270 <sup>③</sup>	10 <sup>③</sup>	8.4 <sup>④</sup>

①樊文华等,1996<sup>[6]</sup>;②据仲延凯等,1999 数据计算<sup>[9]</sup>;③孔令韶等,2001<sup>[29]</sup>;④黄银晓等,1996<sup>[30]</sup>

研究区三种主要的草原群落,从贝加尔针茅草原、羊草草原到大针茅草原海拔由高到低,年均温由低到高,降水由高到低,物种丰富度和生物量均由高到低<sup>[27]</sup>,土壤由黑钙土、暗栗钙土演变到栗钙土<sup>[31]</sup>。自然地理条件的变化必然引起草原群落营养元素含量的变化,在本区 Fe、Mn、Cu 三种元素的含量在空间分布上也呈现一定的规律性。图1是三种元素在三个草原类型植物系统中的含量分布情况,分布规律十分明显。

在研究区,活体中三个元素的含量和表2所揭示的规律一样:从较湿润的贝加尔针茅草原、羊草草原到较干旱的大针茅草原,三个元素的含量逐渐降低,含量上 Fe>Mn>Cu,而且5月和9月的基本都是如此,只是Cu在研究区含量较低,9月的规律不太明显,有依次增加的趋势(图1)。对比研究区植物活体中三个元素在5月和9月的含量可以看出,5月的含量基本都高于9月的含量,三元素无一例外,这表明在植物生长初期地上部活体中贮积的营养元素含量较高,利于植物的萌发与生长,而在后期较低,是一“稀释”过程,黄德华(1985)等人<sup>[32]</sup>也得出类似的结论。土壤作为三种植物营养元素的主要来



A: 贝加尔针茅草原 B: 羊草草原 C: 大针茅草原

图 1 Fe、Mn、Cu 在锡林河流域三种主要草原群落植物系统中的含量(干重)

Fig. 1 The contents of Fe, Mn and Cu in three grassland communities in the Xilin River Basin (dry weight)

源, 对植物地上活体中三个元素的含量有着明显的影响, 对本区土壤中三个元素含量的测定表明(表 3), 土壤中含量高的, 地上活体中含量也高, 相对大小与地上活体中一样, 也是  $Fe > Mn > Cu$ , 而且草甸草原黑钙土各元素的含量都要高于典型草原暗栗钙土和栗钙土, 这一点与地上活体也是一致的, 至于羊草草原和大针茅草原群落, 两者土壤中三元素含量差别不大, 互有高低, 但地上活体中羊草草原高于大针茅草原群落, 这与羊草草原的水热条件比大针茅草原好有关。由此表明, 土壤是影响地上活体元素含量分布的主要因子, 其他是次要因子。

表 3 Fe、Mn、Cu 在三种草原群落土壤中的含量

Tab. 3 The contents of Fe, Mn and Cu in three types of grassland soil

草地群落	土壤类型	深度 (cm)	Fe (%)	Mn (%)	Cu (mg/kg)
贝加尔针茅草原	黑钙土	0~60	2.17±0.03	0.051±0.003	13.62±1.15
羊草草原	暗栗钙土	0~60	1.36±0.16	0.032±0.005	8.88±2.05
大针茅草原	栗钙土	0~60	1.42±0.11	0.031±0.002	9.78±3.14

注: ±号后为标准偏差, 样本数为 10.

另外,牛羊对其日粮(干重)矿物质营养含量一般要求 Fe 为 10~100mg/kg, Mn 为 1~40mg/kg, Cu 为 0.1~5mg/kg<sup>[33]</sup>, 本区牧草地上活体中三个元素的含量无论是在 5 月还是 9 月都能满足牛羊等牲畜生长发育所要求的含量, 尤以草甸草原的牧草营养价值最高。因此, 草甸草原非常适合用作打草场, 用以弥补冬季草料不足所带来的营养问题。

## 2.2 Fe、Mn、Cu 在凋落物、立枯及根系中的含量特征

植物系统中凋落物、立枯及根系中三种元素的研究报道很少, 尤其是立枯和凋落物, 可资对比的几乎没有, 这里主要阐述本次研究的结果。总的来看, 凋落物和根系中三种元素的含量较高, 立枯中的含量较低, 地上植物活体中的含量最低, 从地上部凋落物、立枯及活体来看, 呈现分解程度越高, 元素含量也越高的规律, 而且无论在哪个部分中元素含量都是  $Fe > Mn > Cu$ 。

凋落物是地上部植物活体死亡凋落的部分, 凋落物中 Fe、Mn、Cu 三个元素 5 月的含量按羊草草原、大针茅草原、贝加尔针茅草原的顺序递减, 三个元素无一例外; 9 月, 三元素的含量在三个群落中的相对大小略有不同, Fe 递减的顺序同 5 月一致, Mn 和 Cu 的含量按羊草草原、贝加尔针茅草原、大针茅草原的顺序递减。这里, 凋落物中元素含量的相对高低与活体中的是不一致的, 贝加尔针茅草原群落凋落物中三个元素的含量是三个群落中最低或次低的(5 月最低, 9 月最低或次低), 而在活体中是最高的(9 月 Cu 除外), 原因在于贝加尔针茅草原群落采样地是打草场, 凋落物和立枯都很少, 残存的多是上一年底打草落下的, 冬春季气温较羊草草原及大针茅草原都低, 分解程度也低, 所以 5 月的含量最低, 但 5 月到 9 月这段时间气温回升, 降水增加, 贝加尔针茅草原的降水量又大, 有机体分解速度增大, 造成 9 月 Mn 和 Cu 含量高于大针茅草原的结果, Fe 因为含量高基数大顺序没有变动。羊草草原及大针茅草原草原采样点都是围栏样地, 降水及气温都近似, 羊草群落降水略高, 气温略低, 三元素在凋落物中的含量相对大小与活体中的一致, 都是羊草草原大于大针茅草原, 5 月、9 月都是如此(图 1)。

立枯是地上部植物活体死亡未倒伏的部分, 一般一到两年以后都转化为凋落物。立枯的分解程度较低, 它的元素含量相对高低从表面上看应与活体一致, 但实际情况不完全如此。5 月贝加尔针茅草原无立枯数据, 只对羊草草原和大针茅草原做一分析。在活体中的三个元素含量羊草草原都大于大针茅草原, 而在立枯中正好相反, 这表明冬季立枯的分解程度大针茅草原要高于羊草草原, 这一点不同于凋落物, 这估计跟大针茅草原群落的持雪能力比羊草草原群落要强有关。9 月活体中 Fe、Mn 的含量是按贝加尔针茅草原、羊草草原到较干旱的大针茅草原的顺序递减的, Cu 则是按贝加尔针茅草原、羊草草原到较干旱的大针茅草原的顺序递增的, 而立枯中 Fe 的含量按羊草草原、大针茅草原、贝加尔针茅草原顺序递减, Mn 按贝加尔针茅草原、羊草草原、大针茅草原递减, Cu 按贝加尔针茅草原、羊草草原、大针茅草原顺序递增, 除 Fe 在贝加尔针茅草原立枯中的含量偏低外, 其他两元素在三个群落中的相对大小都与活体中的一致, 而且元素在活体与立枯间的含量差值远较活体与凋落物间的差值小, 这进一步表明植物枯死体分解程度越高, Fe、Mn、Cu 的含量越高, 分解程度越低, 元素在活体与枯死体中的差异越小。

对比立枯及凋落物在三个群落中 5 月及 9 月的含量可以看出, 无论是立枯还是凋落物, 5 月的含量都高于 9 月的含量, 原因在于 5~9 月间降水量较大温度较高, 利于立枯及凋落物分解, 分解程度较大的立枯倒伏成为凋落物, 降低了凋落物中三元素的含量值, 未倒伏的立枯分解程度较低, 且多是上一年及当年新形成的, 这部分立枯三个元素的含量

值较低, 结果就表现为立枯和凋落物中三元素的含量 5 月的都高于 9 月的。这可以从凋落物和立枯生物量的变化情况看出来, 9 月的立枯和凋落物远小于 5 月的, 由于冬季大针茅草原立枯的分解能力大于羊草草原, 而在夏季略低, 导致 9 月大针茅草原立枯倒伏的比例大于羊草草原 (表 4)。

表 4 锡林河流域三种草原群落植物系统地上各部分的生物量 (干重)

Tab. 4 The biomass of every compartment in the plant system of the three grassland communities in the Xilin River Basin (dry weight)

系统组分	草原群落		贝加尔针茅草原		羊草草原		大针茅草原	
	5 月	9 月	5 月	9 月	5 月	9 月	5 月	9 月
活体 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )	70±10	137±30	44±8	81±12	31±4	71±12		
立枯 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )		29±6	211±44	123±23	108±13	34±10		
凋落物 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )	38±9	66±23	115±28	36±10	69±18	32±6		

注: ±号后为标准偏差, 样本数为 20

三种元素在根中的含量 5 月的一般高于 9 月的, 有较为明显的降低, 也是一稀释过程。三个元素在三个群落中的分布规律不是很明显, 只是 Cu 在根中的含量远高于植物系统中其他组成部分, 而且比土壤中还高, 有明显的富集 (图 1, 表 3)。

### 3 结论

通过以上的分析和讨论, 内蒙古锡林河流域温带草原植被中 Fe、Mn、Cu 的含量具有以下特征:

(1) 在研究区地上部活体中, 从较湿润的贝加尔针茅草原、羊草草原到较干旱的大针茅草原, 三个元素的含量逐渐降低, 但 9 月 Cu 有逐渐升高的趋势。地上活体中 Fe、Mn、Cu 三个元素的含量无论是在 5 月还是 9 月都能满足牛羊等牲畜生长发育的要求, 尤以草甸草原的牧草营养价值最高。适合用作冬季储备草料的打草场。

(2) 在植物系统各组成部分中, 三个元素的含量  $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu}$ , 5 月的含量高于 9 月的含量。凋落物和根系中 Fe、Mn、Cu 三种元素的含量较高, 立枯中的含量较低, 地上植物活体中的含量最低。从地上部凋落物、立枯及活体来看, 呈现分解程度越高, 元素含量也越高的规律。

(3) 5 月, 凋落物中 Fe、Mn、Cu 三个元素的含量按羊草草原、大针茅草原、贝加尔针茅草原的顺序递减; 9 月, Fe 递减的顺序同 5 月一致, Mn 和 Cu 的含量按羊草草原、贝加尔针茅草原、大针茅草原的顺序递减。降水是影响凋落物分解的重要因素。

(4) 冬季大针茅草原立枯分解速度大于羊草草原, 三元素的含量前者大于后者。9 月立枯中三个元素的含量递减顺序与活体基本一致。在根系中, Cu 强烈富集。

(5) 土壤是影响植物地上活体 Fe、Mn 和 Cu 元素含量的主要因素, 土壤中含量高的地上活体中含量也高, 相对大小与地上活体中相同, 也是  $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu}$ 。草甸草原黑钙土中三元素的含量高于典型草原暗栗钙土和栗钙土, 对应的植物地上活体元素含量也是草甸草原高于典型草原。

## 参考文献:

- [1] 袁可能 编著. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983. 5~340.
- [2] 商翎, 提福魁, 王淑华, 等. 元素生态地球化学及其应用. 沈阳: 辽宁大学出版社, 1997. 9~167.
- [3] 中国环境监测总站 主编. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [4] 陈佐忠, 黄德华, 张鸿芳. 内蒙古锡林河流域 122 种植物的元素化学特征. 见: 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第 1 集). 北京: 科学出版社, 1985. 112~131.
- [5] 樊文华, 张毓庄. 五台山山地草甸自然保护区 11 种化学元素生物积累的研究. 生态学报, 1995, 15(1): 85~90.
- [6] 樊文华, 张毓庄, 万淑贞, 等. 五台山草地自然保护区不同植物化学元素含量的研究. 草地学报, 1996, 4(1): 55~62.
- [7] 仲延凯, 包青海, 孙卫国, 等. 天然割草地补充施用亏损营养元素的研究. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1996, 27(5): 707~712.
- [8] 仲延凯, 包青海, 张海燕. 割草对典型草原植物营养元素贮量及分配的影响 I. 植物生物量的贮量及分配. 干旱区资源与环境, 1999, 13(2): 25~32.
- [9] 仲延凯, 孙维, 孙卫国. 割草对典型草原植物营养元素贮量及分配的影响 III. 刈割对植物营养元素含量变化的影响. 干旱区资源与环境, 1999, 13(4): 69~73.
- [10] 仲延凯, 孙维, 孙卫国, 等. 割草对典型草原植物营养元素贮量及分配的影响 IV. 土壤—植物营养元素含量的比较. 干旱区资源与环境, 2000, 14(1): 55~63.
- [11] 杜占池, 钟华平. 川东红池坝地区红三叶和鸭茅人工草地土壤和植物营养元素含量特征的研究. 植物生态学报, 1998, 22(4): 350~355.
- [12] 付华, 周志宇, 陈善科. 阿拉善荒漠草地类牧草中化学元素特点的研究. 中国沙漠, 1994, 14(2): 37~41.
- [13] 付华, 周志宇, 庄光辉. 阿拉善荒漠草地类微量元素含量特征的研究. 中国沙漠, 2000, 20(4): 426~429.
- [14] 傅林谦, 白静仁, 余亚军. 亚热带黑麦草—白三叶草地土壤—牧草中微量元素季节动态及分布规律. 草地学报, 1995, 3(4): 276~282.
- [15] 傅林谦, 白静仁, 余亚军. 亚热带黑麦草/三叶草草地牧草与群落中几种元素季节动态及分布. 草地学报, 1996, 4(1): 26~33.
- [16] Nicholas D J D, Egan A R. Trace elements in soil-plant-animal systems. New York: Academic Press, INC, 1975. 109~226, 291~406.
- [17] Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1984. 51~252.
- [18] Adarve M J, Hernandez A J, Gil A, *et al.* Boron, Zinc, Iron, and Manganese content in four grassland species. Journal of Environmental Quality, 1998, 27(Nov. — Dec.): 1286~1288.
- [19] Bargagli R. Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Berlin: Springer, 1998. 1~324.
- [20] Sutton P, Maskall J, Thornton I. Concentrations of major and trace elements in soil and grass at Shimba Hills National Reserve, Kenya. Applied Geochemistry, 2002, 17(8): 1003~1016.
- [21] 陶澍, 林春野, 冯泉. 我国北部草原系列土壤中成土作用对微量元素含量影响的经向分异. 土壤学报, 1995, 32(2): 126~131.
- [22] 贾恒义, 程浦海, 雍绍萍, 等. 黄土高原草地土壤化学元素的特征与生态环境. 水土保持学报, 1995, 9(4): 84~93.
- [23] 黄德华, 王艳芬, 陈佐忠. 内蒙古羊草草原均腐土营养元素的生物积累. 草地学报, 1996, 4(4): 231~239.
- [24] 贾恒义. 黄土丘陵草地土壤营养元素含量迁移及分布. 水土保持研究, 1998, 5(1): 119~125.
- [25] 罗金发, 孟维奇, 夏增禄. 土壤重金属(镉、铅、铜)化学形态原地理分异研究. 地理研究, 1998, 17(3): 265~272.
- [26] 刘全友, 董依平, 李继云, 等. 多伦县土壤营养元素有效态含量的影响因素研究. 生态学报, 2000, 20(6): 1034~1037.
- [27] 李博, 雍世鹏, 李忠厚. 锡林河流域植被及其利用. 见: 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第 3 集). 北京: 科学出版社, 1988. 84~183.
- [28] 白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究. 植物生态学报, 2000, 24(6)(6): 667~673.
- [29] 孔令韶, 王其兵, 郭柯, 内蒙古阿拉善地区植物元素含量特征及数量分析. 植物学报, 2001, 43(5): 534~540.

- [30] 黄银晓,林舜华,孔令韶,等. 内蒙阿拉善地区植物与土壤元素背景值特征及其相互关系. 应用与环境生物学报, 1996, 2(4):329~339.
- [31] 姜恕. 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站的建立和研究工作概述. 见:中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第1集). 北京:科学出版社,1985. 84~183.
- [32] 黄德华,陈佐忠,张鸿芳. 克氏针茅草原主要植物种化学元素含量的季节变化. 见:中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究(第1集). 北京:科学出版社,1985. 132~137.
- [33] M. E. 恩斯明格, C. G. 奥伦廷. 饲料与营养(缩写本). 秦礼让, 马承融, 邓蔼祥, 等译校. 北京:农业出版社, 1985. 308~309, 382~383, 424~425, 452~453.

## The content characteristics on Fe, Mn and Cu in the grassland vegetation of Xilin River Basin

GENG Yuan-bo, ZHANG Shen, DONG Yun-she, MENG Wei-qi,  
 QI Yu-chun, YANG Xiao-hong, LIU Li-xin

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Fe, Mn and Cu, as elements of the fourth period in the periodic table of elements, are all essential elements for plants and animals in grassland ecosystems. The contents of Fe, Mn and Cu in parts of the grassland vegetation, such as shoots, standing dead, litters and roots, were measured in the initial stage of plant growth and the later stage of plant growth, respectively. The results showed that the contents of Fe, Mn and Cu in shoots were suitable for plant and livestock, and the nutritive value of the *Stipa baicalensis* grassland community, which belongs to meadow steppe, is higher than those of the *Leymus chinensis* and *Stipa grandis* grassland communities, which belong to typical steppe, in point of essential elements Fe, Mn and Cu. Regularities of Fe, Mn and Cu content distribution in shoots, standing dead, litters and roots are as follows: From litters and roots, standing dead, to shoots, their contents gradually decreased; along the precipitation, air temperature and altitude gradient, the contents of Fe and Mn in shoots and litters gradually decreased from *Stipa baicalensis* grassland community, *Leymus chinensis* grassland community to *Stipa grandis* grassland community, and Cu gradually increased in the initial stage of plant growth and decreased in the later stage of plant growth as the same order. The contents of Fe and Mn in standing dead gradually increased in the initial stage and decreased in the later stage, and the contents of Cu gradually increased in the initial stage and the later stage. The contents of the three elements in every part of plant ecosystems were higher in the initial stage of plant growth than the later stage. The more intensely the dead plants aboveground were decomposed, the higher the contents of Fe, Mn and Cu were. Cu is very abundant in roots.

**Key words:** grassland vegetation; nutrient; shoot; standing dead; litter