

东北羊草草地锰、铜、锌含量 特征的研究*

葛滢 李建东 常杰

(东北师范大学草地研究所, 长春 130024)

摘要 本文研究了羊草(*Aneurolepidium chinense*)草地割草场3种植物必需的微量元素锰、铜、锌的含量特征。结果表明,在生长季各时期,优势种羊草各器官元素含量有很大变化,总的趋势是:根>根茎>茎>叶>穗(Zn: 叶>茎),各器官之间元素含量差异显著($P < 0.05$)。其它种类植物根中锰、铜、锌含量也显著高于地上各器官。羊草地上部锰、铜、锌积累量在生长季中的变化近似于“S”型曲线,但各元素曲线最高点出现的时间不同。寸草苔(*Carex duriuscula*)和针蔺(*Heleocharis acicularis*)地上部锰、铜、锌积累量变化与生物量变化相似,基本为双峰型曲线。三种元素在群落中的分布规律是:根>茎>叶>穗,与生物量分布规律相同。但锰、铜在地上各器官中积累量占植物总积累量的比率低于相应的生物量比率,而锌这两者的比率则与生物量比率相近。群落中锰、铜、锌积累量与根层土壤中锰、铜、锌总量之比分别为0.10%、0.33%和0.09%。

关键词 羊草草地; 锰; 铜; 锌; 含量; 积累量

锰、铜、锌是植物生长必需的微量元素。它们在植物体中含量过高或过低,都将制约植物生长^[4]。已有研究证明^[5],在碱性土壤上,3种元素的有效性含量均较低,可能产生缺乏症状,从而降低群落的生产力。因此,在盐碱化较严重的东北羊草草地上^[11],研究锰、铜、锌含量特征具有重要意义。关于羊草中有关锰的研究^[5,6],以及矿区苔草属一些植物中铜和锌含量的研究^[1,7]有过一些报道,但在碱化草原区羊草群落中锰、铜、锌含量特征的研究尚未见报道。

1. 自然概况与研究方法

本项试验在吉林省长岭种马场东北师大草原生态研究站(44°45'N, 123°45'E)进行。关于其气候、地形及群落概况已有报道^[10]。

在割草场选择地形平坦、有代表性的地段作为试验样地。土壤主要化学性质见表1。

世界上一般土壤锰、铜、锌全量的平均值分别为850ppm、20ppm和50ppm^[8],与此相比,研究地区土壤中锰、铜全量较低,锌全量较高。土壤pH值较高,使得交换性锰、铜、锌含量较低,但基本高于各元素“缺乏”的临界值^[9]。

1989年4—9月的每月在选定样地上取6个50cm×50cm样方,将每个样方内的所

本文于1993年2月收到,6月收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助课题,试验在东北师范大学草地研究所完成。

本文作者葛滢及常杰现在杭州大学生物系工作。

表 1 羊草草地土壤主要化学性质
Table 1 Main chemical characters of the *Aneurolepidium chinense* grassland soil

土层深度 Depth (cm)	pH	有机质 O. M. (%)	交换性 Exchangeable(ppm)			全 量 Total(ppm)		
			Mn	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn
0—15	9.12	2.01	11.10	0.84	0.16	454.90	16.42	162.05
15—30	9.15	0.42	2.41	0.68	0.12	312.08	12.88	72.03
80—100	9.30	—	1.15	0.76	0.16	446.97	18.25	80.36

有植物齐地面剪下, 分拣出不同植物及枯死体, 并将羊草、寸草苔和针蔺 3 种主要植物的茎、叶、穗等各器官分开。在上述 6 个剪过的样方中选择 3 个, 挖取 25cm × 25cm × 45cm 的土柱(45cm 以下土层中, 根重小于群落总根重的 10%, 忽略不计), 用 40 目筛子冲洗, 挑出白色的羊草根和根茎、紫红色的寸草苔和针蔺的根, 再次清洗。将植物地上、地下部分置于 80℃ 烘箱中烘干, 分别进行生物量测定, 然后将各样方中的同种植物的同一器官进行混合粉碎。土壤样品的采取随植物地下部分的采取同时进行, 并混合、风干、粉碎, 过筛后备用。每月收集雨水样品, 冷藏, 备用。植物样品用硫酸、硝酸、高氯酸混合液进行消煮^[9]。锰、铜、锌用原子吸收分光光度计进行测定, 每样品做两个平行样, 重复误差不超过 10%。土壤样品交换性锰、铜、锌用 NH₄Ac 浸提, 全量待测液用湿消化法制备^[9]。土壤样品及雨水样品中锰、铜、锌的测定方法与植物的测定相同。土壤 pH 用 ZD-2 型酸度计测定, 土壤有机质用重铬酸钾容量法测定^[2]。

2. 结果与分析

2.1 羊草群落锰、铜、锌的含量

2.1.1 羊草各器官锰、铜、锌的含量

从图 1 可以看出: 羊草根中的锰含量在生长季中基本为稀释型曲线^[11]; 铜、锌含量变化均为波动型曲线。根茎中锰含量为“V”字型曲线; 铜为波动曲线, 但与根中相反, 且

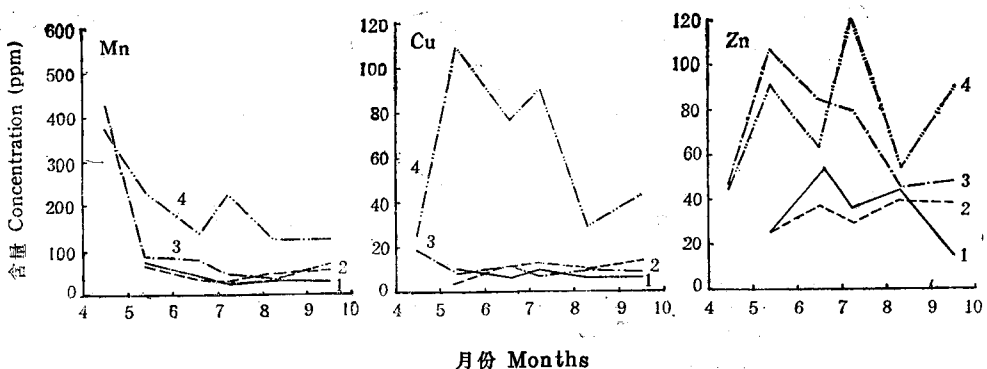


图 1 羊草各器官锰、铜、锌含量的季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of Mn, Cu and Zn concentrations in different organs of *Aneurolepidium chinense*

1. 叶 Leaf 2. 茎 Stem 3. 根茎 Rhizome 4. 根 Root

变幅小; 锌的曲线为倒“V”型。茎、叶中锰含量为“V”字型, 铜、锌为波动型曲线。

穗中锰、铜、锌含量在6月份分别为28.69、4.95和31.66ppm; 7月份随着种子成熟, 锰、铜、含量有所增高, 分别为30.59和6.02ppm, 锌含量略有降低, 为27.03ppm。另外, 6月份穗轴中锰、铜、锌含量分别为22.27、2.97和23.01ppm, 均低于同月茎中的锰、铜、锌含量。

羊草各器官锰、铜、锌含量呈如下顺序:

锰和铜为根>根茎>茎>叶>穗, 各器官之间的差异显著 ($0.01 < P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)。

锌为根>根茎>叶>茎>穗, 各器官之间的差异极显著 ($P < 0.01$)。

锰是维持叶绿体结构必需的微量元素^[12], 而茎、叶中含量在生长初期(幼嫩时)较高, 5—7月逐渐降低; 在生长迅速的5—6月, 叶中含量高于茎。另外, 锰是移动性较差的元素, 并有积累效应^[8], 所以在生长后期(7—9月)又逐渐升高。地下部锰含量在4月份明显高于其它月份。可以推断, 从深秋至翌年早春, 积累在根和根茎中的锰, 在春季返青以后迅速转入地上, 供新生的地上部器官使用, 在整个生长季中, 羊草对锰的吸收量不大。

植物吸收的铜和锌大部分积累在根中^[8, 4], 因此, 羊草根中铜、锌的含量明显高于其它各器官。另外, 锌与生长素的形成有密切关系^[8], 故在羊草生长最快的6月份, 叶和茎中锌含量均为升高趋势。

2.1.2 羊草群落伴生种的锰、铜、锌含量

从图2可见, 寸草苔和针蔺根中锰、铜、锌含量的季节变化均为波动型曲线, 除锰外均与羊草相似。寸草苔叶中锰、锌为波动型曲线, 铜为倒“V”型曲线。寸草苔和针蔺茎中锰

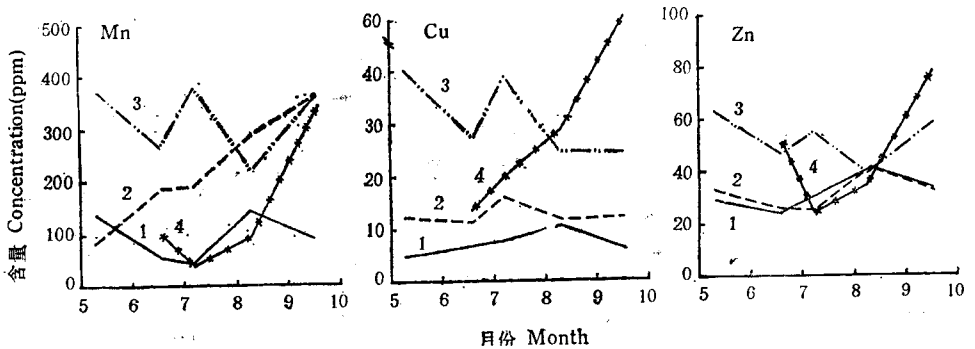


图2 羊草群落伴生种各器官锰、铜、锌含量的季节动态
 Fig. 2 Seasonal dynamics of Mn, Cu and Zn concentrations in different organs of the companion species of *Aneurolepidium chinense* community

- 1. 寸草苔叶 Leaf of *Carex duriuscula*
- 2. 寸草苔+针蔺茎 Stem of *C. duriuscula*+*Heleocharis acicularis*
- 3. 寸草苔+针蔺根 Root of *C. duriuscula*+*H. acicularis*
- 4. 其它伴生种地上 Aboveground part of other companion species

含量为浓缩型曲线, 铜为倒“V”型曲线, 锌与叶中变化曲线相似。

其它伴生种中锰、锌含量的季节变化曲线为“V”型。

根中锰、铜、锌含量均显著高于其它各器官 ($p < 0.01$)。

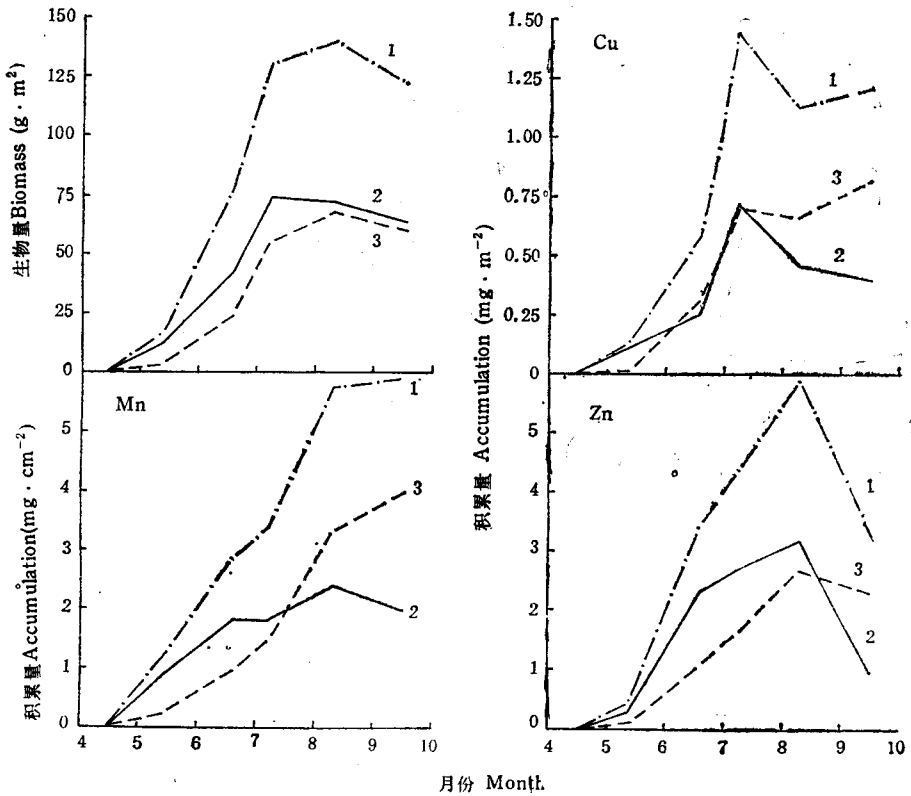


图3 羊草地上部分锰、铜、锌积累量及生物量的季节动态

Fig. 3 Seasonal dynamics of accumulation of Mn, Cu, Zn and aboveground biomass of *Aneurolepidium chinense*

1. 地上部分 Aboveground part 2. 叶 Leaf 3. 茎 Stem

2.2 羊草群落地上部分锰、铜、锌的积累量

2.2.1 羊草地上部分锰、铜、锌的积累量

根据羊草地上部分各器官的生物量及其锰、铜、锌含量,可计算出各器官中锰、铜、锌的积累量,结果见图3。从图3中可见,在4—7月,羊草地上部分锰、铜、锌积累量随生物量的增加而增加。但由于元素在各器官中的积累速率不同(表2),所以不同时期元素在各器官中的分布规律不一致(表3)。7月份以后与生物量变化规律的差异已很明显。

元素积累速率的变化是由植物生长对元素的需要和环境因子变化共同作用决定的。锰是与光合作用密切相关的微量元素^[4],因此叶中的积累速率在4—6月高于茎(表2),使叶中锰占地上部锰的比例大于叶生物量占地上的比例。6—8月份锰在茎中积累速率变化与生物量增长速率相似,8—9月,当生物量增长为负值时,锰的积累速率仍为正值,这说明锰在植物体中有积累效应^[3]。与茎相反,叶中锰的积累速率在4—7月间逐渐降低,8—9月转为负值,因此,叶中锰占地上部锰的比例随时间增加逐渐降低,并低于相应的生物量比例。这说明,锰在叶中基本上不积累,而主要积累于茎中。

铜的积累也与光合作用有关^[4],所以叶中铜的积累变化规律在4—6月与锰相似,为降低趋势,叶中的铜占地上部积累量的比例也逐渐降低。据报道铜积累又与呼吸作用密

表2 羊草地上部分锰、铜、锌积累速率¹⁾的季节动态
 Table 2 Seasonal dynamics of the accumulation rates ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) of Mn, Cu, and Zn of aboveground part of *Aneurolepidium chinense*

元 素 Elements	组 分 Components	月 份 Months				
		4—5	5—6	6—7	7—8	8—9
Mn	叶 Leaf	31.95	24.79	0.44	17.86	-10.66
	茎 Stem	8.66	18.80	25.63	54.98	16.61
	地上 Aboveground	40.61	45.99	24.75	71.66	5.81
Cu	叶 Leaf	4.12	3.92	21.28	-8.44	-1.54
	茎 Stem	0.46	7.80	17.95	-0.89	3.79
	地上 Aboveground	4.58	12.14	39.07	-9.57	2.22
Zn	叶 Leaf	11.15	53.81	17.47	15.33	-57.97
	茎 Stem	3.43	25.97	24.55	32.69	-9.23
	地上 Aboveground	14.58	82.45	39.97	46.98	-67.32

单位时间单位面积内元素积累的变化值

表3 羊草地上部分各器官中锰、铜、锌积累量占地上部比率(%)的季节动态
 Table 3 Seasonal dynamics of the percentages (%) of the accumulated Mn, Cu and Zn of different aboveground organs in aboveground part of *Aneurolepidium chinense*

项 目 Items	器 官 Organ	月 份 Months				
		5	6	7	8	9
生物量 Biomass	叶 Leaf	76.69	55.03	56.59	51.35	50.72
	茎 Stem	23.31	40.94	41.91	48.16	48.86
	穗 Ear	0	4.03	1.50	0.49	0.43
Mn	叶 Leaf	78.67	63.82	53.83	41.94	33.60
	茎 Stem	21.33	33.04	44.39	57.69	66.13
	穗 Ear	0	3.14	1.78	0.37	0.27
Cu	叶 Leaf	90.01	45.12	50.71	40.14	32.47
	茎 Stem	9.99	52.22	48.46	59.49	67.26
	穗 Ear	0	2.67	0.83	0.37	0.27
Zn	叶 Leaf	76.46	66.59	61.95	54.24	29.75
	茎 Stem	23.54	30.56	36.82	45.44	69.82
	穗 Ear	0	2.85	1.23	0.32	0.43

下注同表2

切相关^[4]。研究地区6—7月初存在明显的空气和土壤的干旱,致使植物呼吸作用强烈,因而叶中铜的积累速率在6—7月初明显增加,因而使7月份叶中铜的比例较高,与锰有明显差异。

锌的积累与生长素关系密切。在植物相对生长速率最高的5—6月,叶中锌积累速率最高,6—7月,叶中锌所占比例已明显高于叶占总生物量的比例。

2.2.2 羊草群落伴生种地上部分锰、铜、锌的积累量

寸草苔和针蒿是羊草群落的主要伴生种。在研究地区,生长季的前期气候干旱,后期

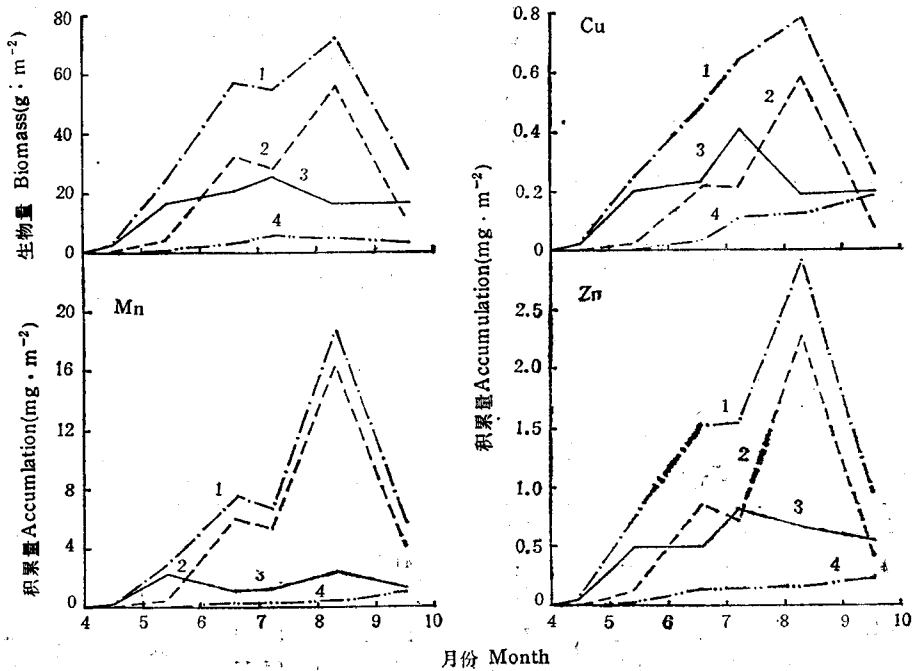


图4 羊草群落伴生种地上部分锰、铜、锌积累量及生物量的季节动态
 Fig. 4 Seasonal dynamics of accumulation of Mn, Cu, Zn and aboveground biomass of companion species in *Aneurolepidium chinense* community

1. 寸草苔+针蔺地上 Aboveground part of *Carex duriuscula* + *Heleocharis acicularis*
2. 寸草苔+针蔺茎 Stem of *C. duriuscula* + *H. acicularis*
3. 寸草苔叶 Leaf of *C. duriuscula*
4. 其它伴生种地上 Aboveground part of other companion species

湿润。在湿润期到来前,早生的寸草苔完成生殖生长,但其叶片的营养生长持续到生长季末。湿生植物针蔺在湿润期,开始大量生长。从图4可以看出,寸草苔和针蔺茎中锰、铜、锌含量变化与生物量变化规律相似,基本为双峰型曲线。其中铜的双峰现象不明显,是由于7月份寸草苔叶中铜积累量猛增,估计增加原因与羊草相同。

2.2.3 羊草群落地上部分锰、铜、锌总积累量

分析羊草群落地上部锰、铜、锌总积累量(图5)可以看出,羊草群落地上部分铜、锌积

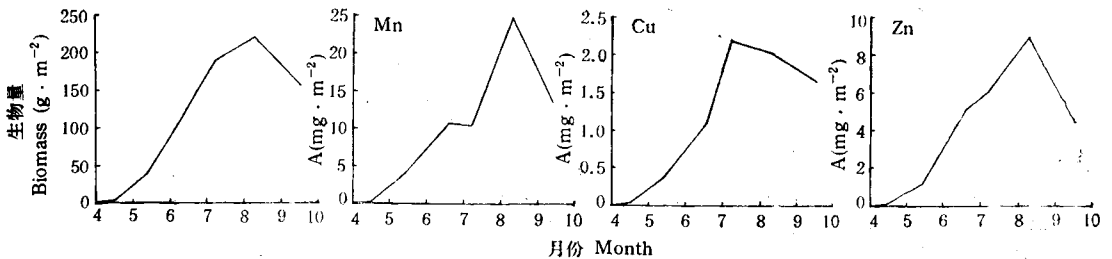


图5 羊草群落地上部锰、铜、锌积累量(A)及生物量季节动态
 Fig. 5 Seasonal dynamics of Mn, Cu, Zn accumulation(A) and the aboveground biomass of *Aneurolepidium chinense* community

累量随月份变化的规律为与生物量变化相似呈“S”型曲线。不同的是,铜的最高点出现在7月。锰总积累量随时间的变化曲线与生物量曲线不同,为双峰型,与寸草苔+针蔺生物量变化则相似(图4)。这是因为锰在羊草中分布较少(表4),各月中仅占群落中锰总积累量的23%—47%,远低于生物量所占比例,而在寸草苔和针蔺中比例则较高。

2.3 羊草群落和土壤中锰、铜、锌的分布

以羊草群落生物量最大的8月份,探讨其各器官锰、铜、锌的分布规律,结果(表5)表

表4 羊草群落各种植物地上部分锰、铜、锌积累量及生物量占群落地上部总量比率(%)的季节动态

Table 4 Seasonal dynamics of the ratios (%) of Mn, Cu, Zn accumulation and the aboveground biomass of different species to that of all species of *Aneurolepidium chinense* community.

项 目 Items	组 分 Components	月 份 Months				
		5	6	7	8	9
生物量 Biomass	A.c.	40.20	56.26	68.17	64.40	79.70
	C.d.+H.a.	59.19	41.75	28.73	33.11	18.36
	Other	0.60	1.99	3.10	2.49	1.94
Mn	A.c.	27.75	26.39	32.71	23.22	46.86
	C.d.+H.a.	71.68	71.11	65.11	75.06	47.47
	Other	0.56	2.50	2.18	1.72	7.67
Cu	A.c.	34.11	52.26	65.50	55.24	72.17
	C.d.+H.a.	65.03	44.36	29.30	38.52	16.78
	Other	0.85	3.38	5.20	6.23	11.05
Zn	A.c.	35.28	67.43	71.82	65.59	73.68
	C.d.+H.a.	63.68	29.84	25.82	32.68	21.13
	Other	1.04	2.73	2.35	1.74	5.19

A.c.: 羊草 *Aneurolepidium chinense*; C.d.+H.a.: 寸草苔+针蔺 *Carex duriuscula*+*Heleocharis acicularis*; Other: 其它伴生种 Other companion species

表5 羊草群落和根层(0—45cm)土壤中的锰、铜、锌分布

Table 5 Distribution of Mn, Cu and Zn in *Aneurolepidium chinense* community and rooting layer (0—45cm) of the soil

项 目 Items	生物量 Biomass		Mn		Cu		Zn	
	mg/m ²	%	mg/m ²	%	mg/m ²	%	mg/m ²	%
叶 Leaf	89.12	6.46	4.83	2.01	0.64	2.08	3.86	6.42
茎 Stem	128.92	9.34	19.90	8.28	1.38	4.47	5.10	8.50
穗 Ear	0.70	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
地上 Aboveground	218.89	15.85	24.75	10.30	2.03	6.57	8.98	14.95
地下 Belowground	1160.96	84.15	215.47	89.70	28.87	93.43	51.08	85.05
总和 Total	1379.85	100	240.22	100	30.90	100	60.06	100
土壤交换性($\times 10^{-3}$) E×changeable	—	—	3.41	—	0.48	—	0.09	—
全量 ($\times 10^{-3}$) Total	—	—	236.68	—	9.28	—	66.55	—

明,在羊草群落中,各器官锰、铜、锌积累量的变化规律与生物量相同,均为根>茎>叶>穗,但锰、铜在地上各器官中积累比率低于生物量所占比例,锌与生物量比率接近。

群落中元素积累量与根层土壤中元素总量之比为1.01%、3.33%和0.90%,与根层土壤中交换性元素总量之比为7.04%、6.44%和67.33%。

3. 讨论

a. 1989年7月中旬到8月,研究地区降雨量充沛,8月初已形成地表积水(可持续15—20天)。降水中锰、铜含量几乎为零,锌含量为7.74ppm。另外,土壤表层交换性锰含量较高,锌、锰全量均高于铜(表1),且在土壤pH较高的条件下,水淹可降低土壤pH值,使锰、锌的可溶性增加,而对铜影响较小^[3]。根据文献推测积水中锰、锌含量较高,铜较低。

8—9月植物地上部生长速度减慢,锰、铜由于积累效应而持续增加,锌则因其具较强的可移动性,并可在根中贮藏^[9],地上部积累量迅速降低。

b. 植物中的元素含量一方面由其本身的生物学特性决定,另一方面也受到环境条件的制约。据研究^[4],植物叶片中锰、铜、锌含量的正常范围是20—50ppm、5—30ppm和25—150ppm,低于此范围下限可能产生缺素反应,高于上限则可能使植物受到毒害。从图1和图2可见,羊草群落的各种植物中3种元素含量基本在此范围之内,数值接近于下限,这初步说明,研究地区土壤中锰、铜、锌含量虽然较低,但基本上仍能满足目前羊草群落植物生长发育的需要。特别值得一提的是,目前草地的利用强度很高,连年割草有使草地进一步碱化的趋势。土壤pH增高会降低锰、铜、锌的有效性,使草地营养状况愈来愈差,是否会限制未来草地的生产力,甚至影响植物的正常生长,是值得深入研究的一个问题。

参 考 文 献

- [1] 孔令韶等,1984: 辽宁红透山铜矿异常区的植物群落及其主要植物的铜含量特征,植物学报,26(3)302—311。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所,1978: 土壤理化分析,上海科学技术出版社,360—368。
- [3] 刘铮等,1991: 微量元素的农业化学,农业出版社,北京,171—252。
- [4] 邹邦基、何雪晖,1985: 植物的营养,农业出版社,北京,219—244。
- [5] 张小川等,1990: 草原土壤-植被系统中硅、铝、铁和锰的循环,生态学报,10(2)109—115。
- [6] 侯学煜,1982: 中国植被地理及优势植物化学成分,科学出版社,北京,188—210。
- [7] 胡肄慧等,1984: 辽宁青城子矿区植物群落及植物和土壤中元素含量的关系,植物学报,26(4)432—439。
- [8] 袁可能,1983: 植物营养元素的土壤化学,科学出版社,北京,422—540。
- [9] 《环境污染分析方法》科研协作组,1982: 环境污染分析方法,科学出版社,北京,77页。
- [10] 葛滢、李建东,1990: 盐生植被在土壤积盐—脱盐过程中作用的初探,草业学报,1: 70—77。
- [11] 葛滢、李建东,1992: 东北羊草草地钾、钠含量特征的研究,植物学报,34(3)169—175。
- [12] Constantopoulos, G., 1970: Lipid metabolism of manganese-deficient algae I. Effect of manganese deficiency on the greening and the lipid composition of *englena gracilis*. *Plant Physiol.*, 45(1)76—82。

STUDIES ON THE CHARACTERISTICS OF Mn, Cu AND Zn CONTENTS IN THE *ANEUROLEPIDIUM CHINENSE* GRASSLAND OF NORTHEAST CHINA

Ge Ying Li Jian-dong Chang Jie

(Institute of Grassland Science, Northeast Normal University,
Changchun 130024)

Abstract

The characteristics of the contents of Mn, Cu and Zn, which are essential trace elements for plants, of the tissues in the plant species of an *Aneurolepidium chinense* grassland (hayfield) was studied. We obtained the following results,

(1) The element contents in all the organs of *A. chinense* changed greatly in the growing season. Significant variations were found among different organs in the concentrations of the tested elements. In general, the following overall trend was very obvious as far as the element concentrations were concerned, i. e., root > rhizome > stem > ear except for Zn, the concentration of which was higher in leaves than in stems. The concentrations of Mn, Cu and Zn in the roots of other species in the community were also higher than in the aboveground parts.

(2) S-shaped curves could be used to describe the seasonal dynamics of the concentrations of Mn, Cu and Zn in the aboveground parts of *A. chinense*, though the peak concentrations of different elements did not occur simultaneously. The dynamics of Mn, Cu and Zn in the aboveground parts of *Carex duriuscula* and *Heleocharis acicularis* could roughly be expressed by using a double-peaked curve that resembled the seasonal dynamics of their biomass.

(3) The distribution of these elements in different organs followed an order of root >> stem > leaf > ear. This trend could be applicable to the biomass. The ratios of Mn and Cu accumulated in different aboveground organs to the total amount accumulated in the entire plant were lower than those of the biomass. The ratio of Zn in aboveground organs to the total plant was roughly the same as biomass.

(4) The ratios of Mn, Cu and Zn accumulated in the community to the total reserves of the soil were 0.10%, 0.33% and 0.09%, respectively.

Key words *Aneurolepidium chinense*, Microelement, Nutrient dynamics, Grassland.