

江苏海岸带陆生盐土植物矿质元素含量的特点及生物循环

宗世贤 刘昉勋 黄致远 陆翠华 程翔

(江苏省植物研究所, 南京 210014)

摘要 陆生盐土植物在生长过程中吸收积累了大量的 Cl 和 Na; 从海向陆随着土壤和植被的生态演替, 植物中 Cl 和 Na 的浓度逐渐降低; N 与 Cl、Na 有相似的水平分布规律; 植物种类是影响元素吸收积累的主要因素。在盐地碱蓬中 N、P、K、Ca、Mg、Na、Cl、Mn、Cu 和 Zn 的含量均是生长前期较高, 随着其生长老化逐渐降低, 大穗结缕草、白茅与盐地碱蓬相比, Ca 的含量前期低后期高, Na、Mn、Cu 和 Zn 的季节变化不明显。参加盐地碱蓬系统生物循环的元素中, Cl 和 Na 的比例最大, 在大穗结缕草和白茅生态系统中比例较小; 由于白茅被收割利用, 一些元素从此生态系统中流失。

关键词 陆生盐土植物; 矿质元素含量; 季节变化; 生物循环

The concentration characteristics of mineral elements and biological cycle in the terrestrial solonchak plants on the beach of Jiangsu Province Zong Shi-Xian, Liu Fang-Xun, Huang Zhi-Yuan, Lu Cui-Hua and Cheng Xiang (Jiangsu Institute of Botany, Nanjing 210014), *J. Plant Resour. & Environ.* 1993, 2(4): 22~27

A large number of Cl and Na was absorbed and accumulated in the terrestrial solonchak plants among their growth process, following the ecological succession of soil and vegetation from the sea towards the continent, the concentrations of Cl and Na in plants decrease gradually, the horizontal distribution law of element N is similar with Cl and Na and specific difference is the main cause of affecting the absorption and accumulation of various elements. Elements N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, Mn, Cu and Zn in *Suaeda salsa* are higher in the early growth stage, with the plant growing and ageing the concentrations of these elements decrease gradually. In *Zoysia macrostachys* and *Imperata cylindrica* var. *major*, the seasonal changes of elements Na, Mn, Cu, and Zn are not clear, and the content of element Ca is higher in the later growth stage. The elemental biological cycle within the ecosystem of *Suaeda salsa*, the content proportion of Cl and Na is the highest, but within the ecosystem of *Zoysia macrostachys* and *Imperata cylindrica* var. *major* the concentration proportion of Cl and Na is lower. Because *Imperata cylindrica* var. *major* is harvested and utilized, so some elements were lost from this ecosystem.

Key words terrestrial solonchak plants; mineral element concentration; seasonal change; biological cycle

在江苏海岸带陆生盐土植被生态演替序列中, 从海向陆依次分布着含盐量由高到低而有

机质、全氮含量由低到高的土壤系列⁽¹⁾, 生长着耐盐力由大到小而光能利用率与生物量由小到大的植物群落系列。典型群落类型从海向陆依次为盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)群落、大穗结缕草(*Zoysia macrostachys*)群落、白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)群落, 同时伴生有10余种典型陆生盐土植物。本文通过陆生盐土植物的矿质元素分析, 揭示各种植物的元素吸收积累特点及时间、空间变化规律。为海岸带陆生盐土植物的营养管理及合理利用与有效保护提供科学依据。

元素含量的主要特点

在陆生盐土植物群落调查及生物量研究的基础上⁽²⁾, 分别于1988年10月和1989年10月, 在射阳县珍禽自然保护区海滩和如东县兵房乡海滩, 采集了14种比较常见的陆生盐土植物共47个样本, 其中包括藜科植物3种: 盐地碱蓬、碱蓬(*Suaeda glauca*)和盐角草(*Salicornia europaea*); 菊科2种: 碱菀(*Tripolium vulgare*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*); 兰雪科1种: 中华补血草(*Limonium suense*); 禾本科5种: 大穗结缕草、獐毛(*Aeluropus sinensis*)、白茅、束尾草(*Phacelurus latifolius*)和拂子茅(*Calamagrostis epigejos*); 夹竹桃科1种: 罗布麻(*Apocynum venetum*); 豆科1种: 刺果甘草(*Glycyrrhiza paltidiflora*); 莎草科1种: 飘拂草(*Fimbristylis dichotoma*)。采用中国土壤学会1983年编写的《土壤农业化学常规分析方法》一书中的方法, 对上述14种植物47个样本的地上部和地下部的矿质元素 N、P、K、Ca、Mg、Na、Cl 及 Mn、Cu、Zn 等进行了分析, 其加权平均数见表1。

由表1可以看出陆生盐土植物矿质元素含量有如下的特点:

1. 陆生盐土植物在生长过程中吸收积累了大量的 Cl 和 Na。一般植物对 Cl 和 Na 的吸收积累量都是很低的, 而这些陆生盐土植物中 Cl 与 Na 的含量则明显高于其他元素, 各种元素的含量顺序为 $Cl > Na > K > N > Mg > Ca > P > Mn > Zn > Cu$ 。Cl 的平均含量分别是 N、P、K、Ca 及 Mg 的 2.81、23.44、2.29、8.57 及 5.19 倍, Na 是上述元素的 2.02、16.85、1.64、6.16 及 3.37 倍。陆生盐土植物不仅以吸收积累大量的 Cl 和 Na 为特征, 而且 Cl 和 Na 的相关性十分显著, 射阳县珍禽自然保护区 33 个样本 Cl 与 Na 的相关分析结果为: $r = 0.932$, $Y = -0.213 + 1.001 X$, 如东 14 个样本的相关分析结果为 $r = 0.983$, $Y = -0.096 + 0.748 X$, 均达极显著水准。

2. Cl 和 Na 等元素有明显的空间分布规律。Cl 和 Na 的水平分布规律明显。随着土壤和植被的生态演替, 土壤含盐量递减, 有机质全氮递增, 植物对 Cl 和 Na 的吸收积累量逐渐减少。在盐地碱蓬群落→大穗结缕草群落→白茅群落的植被演替系列中, Cl 和 Na 的含量均是盐地碱蓬最高, 大穗结缕草其次, 白茅最低, 盐地碱蓬地上部分 Cl 和 Na 的含量分别是白茅的 20.37 倍和 63.54 倍。除群落优势种之外, 通常也是靠海较近含盐量较高的土壤上生长的陆生盐土植物对 Cl 和 Na 的吸收积累量较高, 离海较远含盐量较低的土壤上生长的植物 Cl 和 Na 的含量较低, 植物中 Cl 和 Na 的含量与土壤 Cl 和 Na 含量呈正相关。同时, Cl 和 Na 等元素还有一定的垂直分布规律, 在靠海较近耐盐力较强含盐量较高的盐地碱蓬和盐角草等盐土植物中, Cl 和 Na 主要集中于地上部分, 地下部分含量很低。盐角草地上部 Cl 和 Na 的含量是地下部分的 4.30 倍和 5.51 倍, 盐地碱蓬地上部是地下部的 2.94 倍和 2.36 倍, 其他大部分陆生盐土植物 Cl 与 Na 的含量通常也是地上部高于地下部。但有些种类, 如生态演替后期阶段出现的禾本科植物白茅、大穗结缕草和拂子茅等, Cl 和 Na 的含量是地下部高于地上部, 地下部分 Cl 和 Na 的含量分别是地上部的 1.72、1.39、1.03 倍和 2.78、1.34、3.33 倍。

14种陆生盐土植物中N、P、K、Ca、Mg的平均含量都是地上部高于地下部,而Mn、Cu、Zn的平均含量则是地下部略高于地上部。

表1 江苏海岸带陆生盐土植物的元素含量

Tab 1 The element concentrations in terrestrial solonchak plants on the beach of Jiangsu province

种类 Species	器官* Organs	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %	Cl %	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm
<i>Suaeda salsa</i>	AG	1.120	0.101	0.925	0.614	1.550	4.956	6.315	66.4	10.6	32.5
	UG	0.520	0.047	0.988	0.147	0.354	2.099	2.485	76.9	10.8	27.3
<i>Suaeda glauca</i>	AG	0.730	0.143	1.322	0.206	0.654	8.552	11.830	49.7	16.2	30.0
	UG	0.490	0.068	1.370	0.192	0.332	1.552	2.750	141.8	8.7	29.0
<i>Salicornia europaea</i>	AG	1.280	0.161	1.648	0.202	0.684	3.308	2.880	51.3	18.9	20.9
	UG	0.500	0.077	0.772	0.060	0.164	0.920	1.240	21.6	—	9.2
<i>Tripolium vulgare</i>	AG	1.230	0.280	2.120	0.184	0.370	2.208	3.520	20.1	20.9	3.4
	UG	0.600	0.139	1.338	0.200	0.366	2.034	2.970	94.0	46.5	22.2
<i>Artemisia capillaris</i>	AG	1.170	0.265	1.266	0.116	0.316	1.092	1.280	26.2	20.3	33.7
	UG	0.460	0.146	0.686	0.096	0.146	0.722	0.730	33.0	13.3	37.1
<i>Limonium sinense</i>	AG	1.540	0.119	0.948	0.294	0.338	0.772	1.240	25.7	17.4	38.6
	UG	0.230	0.157	0.942	0.248	0.404	1.748	2.950	35.9	9.9	33.3
<i>Zoysia macrostachya</i>	AG	0.555	0.079	0.451	0.199	0.251	0.400	0.625	95.9	11.5	44.3
	UG	0.345	0.088	0.381	0.181	0.327	0.546	0.865	75.1	18.3	30.5
<i>Aeluropus sinensis</i>	AG	0.812	0.086	0.493	0.247	0.472	1.036	1.485	125.8	14.8	16.2
	UG	0.839	0.068	0.392	0.207	0.466	0.677	0.897	150.8	22.9	34.8
<i>Imperata cylindrica</i>	AG	0.475	0.061	0.806	0.157	0.219	0.078	0.310	42.2	4.4	9.4
	UG	0.265	0.097	0.995	0.157	0.169	0.218	0.530	25.5	16.3	20.1
<i>Phaseolus latifolius</i>	AG	0.290	0.025	0.486	0.188	0.574	0.025	0.520	94.9	3.1	37.4
	UG	0.350	0.041	1.170	0.258	0.214	0.041	0.410	79.0	—	21.1
<i>Calamagrostis epigejos</i>	AG	0.310	0.017	0.430	0.120	0.134	0.060	0.320	51.5	1.6	14.7
	UG	0.400	0.035	0.520	0.222	0.214	0.198	0.330	60.5	15.2	58.6
<i>Apocynum venetum</i>	AG	1.710	0.038	1.546	0.738	0.258	0.120	0.640	31.8	33.2	15.8
	UG	0.340	0.024	1.188	0.350	0.432	0.050	0.250	11.3	6.4	12.8
<i>Glycyrrhiza pliciflora</i>	AG	0.370	0.025	0.625	0.322	0.332	0.910	1.030	19.7	2.9	26.8
	UG	0.440	0.039	1.048	0.382	0.586	0.328	0.870	77.2	2.4	33.8
<i>Fimbristylis dichotoma</i>	AG	0.340	0.021	1.558	0.272	0.306	0.422	1.480	65.7	3.8	14.6
	UG	0.370	0.027	0.300	0.694	0.466	0.290	0.320	76.8	3.9	28.1
平均 Average	AG	0.852	0.102	1.045	0.279	0.461	1.719	2.391	54.8	24.4	12.8
	UG	0.439	0.075	0.864	0.242	0.331	0.818	1.257	68.5	28.4	16.7

* AG: Aboveground; UG: Underground

3. N与Cl、Na的含量有相似的空间分布规律。从海向陆随土壤和植被生态演替,土壤有机质及全氮的含量逐步增加,但植物的含氮量则逐渐减少。3种陆生盐土植物群落优势种的比较表明,盐地碱蓬含N量最高,大穗结缕草其次,白茅最低,盐地碱蓬地上部分的含N量是白茅的2.36倍。空间分布规律同Cl和Na一致,植物中N的含量与土壤含N量呈反相关,但却与Cl和Na的含量同步变化,原因有待研究。

4. 植物种类是影响其元素吸收规律的主要因素,如豆科植物刺果甘草,对N和K的吸收积累量明显高于其他种类。藜科植物对Cl和Na的吸收积累量非常高,3种藜科植物地上部

Cl 和 Na 的平均含量为 7.01% 和 5.61%，藜科植物 N、P、K 的含量也较高。禾本科植物对上述元素的吸收积累量则较低，5 种禾本科植物中 Cl、Na、N 和 P 的平均含量只有藜科植物的 6.0%、3.0%、39.0% 和 12.0%。另外，从射阳县珍禽自然保护区植物样品的分析可知，生长在含盐量较高的潮滩盐土上的藜科植物盐地碱蓬地上部分 Cl 和 Na 的含量为 3.92% 和 3.52%，而在含盐量较低的草甸滨海盐土的獐毛群落中生长的盐地碱蓬，地上部分 Cl 和 Na 的含量也达 3.85% 和 3.52%，由此可见，植物种类是影响元素含量的主要因子。

元素含量的季节变化

陆生盐土植物元素含量的变化，不仅反应在不同的植物种类、不同的生长环境和植物的不同器官之间，而且在其生长过程中，由于各种植物在不同生长季节和不同生育期，对各种元素的需要量不同，加之各种元素对植物的生理功能以及在植物体内存在状态的差异，各种植物体内的元素含量表现出明显不同的季节变化规律，见表 2。

表 2 江苏海岸带陆生盐土植物元素含量的季节变化

Tab 2 The seasonal changes of the elemental concentrations in terrestrial solonchak plants on the beach of Jiangsu province

种类 Species	月 Month	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %	Cl %	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm
<i>Suaeda salsa</i>	4	1.56	0.33	1.15	0.72	2.57	10.27	13.41	117.6	39.6	8.9
	5	1.49	0.21	1.16	0.78	2.65	10.84	14.32	139.2	32.2	11.1
	6	1.22	0.15	0.87	0.68	2.30	9.94	14.38	133.5	20.7	12.2
	8	0.84	0.06	0.94	0.38	1.17	8.80	11.99	104.6	16.1	7.4
	9	0.93	0.08	0.73	0.48	0.79	5.62	7.34	101.3	17.8	8.8
	10	0.89	0.08	0.73	0.36	0.77	5.07	7.57	82.4	20.1	6.6
<i>Zostera microstachys</i>	4	1.38	0.22	1.51	0.08	0.21	0.25	0.86	78.3	40.9	5.7
	5	0.66	0.13	0.93	0.13	0.18	0.35	0.81	57.7	23.8	8.8
	6	0.57	0.09	0.76	0.12	0.17	0.40	0.77	48.2	20.6	34.4
	8	0.79	0.11	0.41	0.16	0.30	0.54	0.87	137.0	19.3	19.8
	9	0.46	0.03	0.32	0.11	0.19	0.34	0.56	100.4	17.6	15.0
	10	0.47	0.05	0.38	0.18	0.25	0.32	0.54	132.5	26.0	22.9
<i>Suaeda cylindrica</i> var. <i>major</i>	4	1.18	0.18	1.99	0.08	0.63	0.06	0.81	30.9	19.6	6.3
	5	0.90	0.15	2.14	0.09	0.64	0.03	0.68	23.7	19.6	13.8
	6	0.72	0.09	1.68	0.09	1.00	0.03	0.57	18.9	14.0	15.9
	8	0.54	0.08	0.94	0.10	0.25	0.09	0.45	18.6	9.5	20.9
	9	0.51	0.06	0.69	0.13	0.24	0.05	0.32	19.6	10.1	22.4
	10	0.51	0.07	0.63	0.16	0.21	0.08	0.29	29.7	14.8	17.1

从表 2 可以看出，藜科植物盐地碱蓬在生长过程中，由于其叶片肉质多汁，体内矿质元素呈离子态者较多，可移动性大，可淋溶性增强，因而有着特殊的季节变化规律。

Cl 与 Na 在盐地碱蓬生长前期的幼嫩植株中，Cl 和 Na 的浓度较高，分别达 14.38% 和 10.84%，随着植株的生长老化，经过 7、8 月多雨季节的降水淋洗，浓度逐渐下降，分别降至 7.34% 和 5.07%，大约降低 1 倍。

N、P 和 K 它们在植物体内都是可移动和能被再度利用的元素。它们的季节变化规律同非盐渍土上生长的植物相似，在生长前期的幼嫩组织中浓度较高，随着植株的生长老化和降

水淋洗,浓度逐渐降低。10月N、P、K的含量分别比4月下降47%、76%和52%。

Ca与Mg Ca在一般植物体内较固定,不易移动和再利用。通常在嫩叶和幼嫩植株中浓度较低,随着植株生长老化,浓度逐渐升高。如黄山木兰(*Magnolia cylindrica*)、宝华玉兰(*M. zenii*)和白玉兰(*M. denudata*)叶片中Ca的含量在5月份为1.57%、1.55%和1.43%,10月则分别为3.02%、2.71%和3.16%^[4],增长1倍左右。作者研究过的银鹊树(*Tapiscia sinensis*)和毛红椿(*Toona ciliata* var. *pubescens*),在其生长过程中Ca的浓度也是逐渐增加的^[3,5]。Mg在植物体内的可移动性和再利用程度略大于Ca,通常是随着植株的生长老化,浓度略有增加或变化不大。而在典型陆生盐土植物盐地碱蓬中,Ca和Mg浓度季节变化规律同上述植物完全不同,可能是由于Ca和Mg在盐地碱蓬中可溶性的比例较大而易被降水淋洗之故,随着生长老化,Ca和Mg的浓度明显降低,10月Ca、Mg浓度较生长前期下降54%和61%。

Mn、Zn与Cu 其浓度均是生长前期稍高,后期略有降低。

禾本科植物大穗结缕草生长过程中吸收积累的盐分较少,元素含量的季节变化也与盐地碱蓬有所不同。

Cl与Na Cl的浓度在生长前期略高于后期,4月为0.86%,10月降为0.54%,下降幅度小于盐地碱蓬;Na的浓度变化不明显。

Mg与Ca Mg与Ca的季节变化规律与盐地碱蓬相反,在大穗结缕草的幼嫩植株中Mg与Ca的浓度均较低,随着生长老化,浓度略有升高,Mg的变幅较大,Ca的变幅较小。

N、P与K 季节变化规律与盐地碱蓬相似,均是幼嫩植株中浓度较高,随着生长老化,浓度逐渐降低。

Mn、Zn与Cu Mn与Cu的浓度是生长前期较低后期较高,Zn的浓度4月最高而后基本稳定。总的说来,微量元素的季节变化不明显。

白茅元素含量的季节变化,除Mg的浓度前期略高于后期而与大穗结缕草稍有不同外,其他各种元素含量的季节变化规律与大穗结缕草相似。

营养元素的生物循环

陆生盐土植被生态系统中矿质元素的生物循环,是指滨海陆生盐土与动、植物之间元素的周期性循环。它是维持有机物质生产的主要过程之一,又是影响生产力的重要因素。该循环包括3个过程,即元素的吸收、存留和归还。

1. 潮滩盐土-盐地碱蓬生态系统 一年生草本植物盐地碱蓬为该系统的主要初级生产者。当年生长,当年冬全部枯死,其吸收的营养元素当年或稍长些时间以枯落物或死株的形式,全部归还到土壤中去。因而,从某种意义上来说,该系统没有元素的存留,元素的吸收量即是归还量。它们等于盐地碱蓬当年生物量中所包含的元素量与降水淋洗量之和。其中盐地碱蓬生物量中包含的元素量分别为:N 50.37 kg/hm²、P 1.29 kg/hm²、K 15.48 kg/hm²、Ca 12.23 kg/hm²、Mg 29.97 kg/hm²、Na 50.37 kg/hm²、Cl 55.26 kg/hm²、Mn 0.08 kg/hm²、Cu 0.02 kg/hm²、Zn 0.06 kg/hm²。其中Cl与Na占元素总量的58%。从盐地碱蓬生长过程中元素含量的季节变化可知,各种元素的浓度均随植株的生长老化而逐渐降低,表明元素的降水淋洗量相当可观。

2. 草甸滨海盐土-大穗结缕草生态系统 该系统的主要初级生产者大穗结缕草是多年生

低矮草本。其地下部分按照形成的年次,分为当年新生长的地下部分、上年及以前形成的地下部分,再根据所挖取的根系大约有1/3为死根的事实,可以作这样的推断,当年新长出的地下部分占地下总量的1/3,上年的占1/3,以前的占1/3。地上分两部分即当年形成的生物量和以前形成的老茎枝。在其正常演替和连年生长过程中,每年萌发新枝新叶生长新根,每年有老枝老叶和老根枯死,处于顺向演替过程中的大穗结缕草群落,年生长量略大于枯死量,元素吸收量略大于归还量,二者通常相差甚小,元素归还率甚高,吸收量与归还量之差即为存留量。此生态系统中元素的吸收量等于当年形成的生物量中包含的元素量与降水淋洗量之和。前者为当年地上部分的生物量及地下1/3的总量中所包含的元素量,它们分别为N 19.53 kg/hm²、P 2.28 kg/hm²、K 15.73 kg/hm²、Ca 7.73 kg/hm²、Mg 12.00 kg/hm²、Na 16.06 kg/hm²、Cl 24.87 kg/hm²、Mn 0.49 kg/hm²、Cu 0.08 kg/hm²、Zn 0.12 kg/hm², Cl和Na占元素总量的41.4%。大穗结缕草虽然缺乏盐地碱蓬那种肉质多汁Cl离子浓度较高的叶片,但由于其生物量较高盖度较大,降水淋洗量也是较大的。两个植被生态系统元素生物循环的区别,主要表现在盐地碱蓬生态系统中Cl和Na占参加生物循环的元素总量的比例较大,大穗结缕草生态系统中Cl和Na的比例相对较少,其他营养元素的比例则相对增高,在元素生物循环过程中出现一定的存留量。

3. 草甸滨海盐土-白茅生态系统 在海滩陆生盐土植被演替序列处于后期阶段,土壤基本脱盐,表层有机质含量大都达1%以上,已可开垦利用。该生态系统的初级生产者白茅,是直立多年生草本,在其连年生长过程中,年年萌发新株,生长新根,年年地上部分枯死,地下老根腐烂,处上升阶段的白茅群落,年生长量通常稍大于枯死量。此生态系统中元素的吸收量等于当年形成的生物量中包含的元素量与降水淋洗量之和。前者当年地上部分生物量及地下1/3总量中包含的元素量,它们分别为: N 39.13 kg/hm²、P 5.94 kg/hm²、K 74.30 kg/hm²、Ca 15.60 kg/hm²、Mg 20.30 kg/hm²、Na 8.44 kg/hm²、Cl 29.99 kg/hm²、Mn 0.27 kg/hm²、Cu 0.16 kg/hm²、Zn 0.16 kg/hm²,元素Cl和Na只占元素总量的19.8%,明显低于上述两个生态系统,其他营养元素所占比例进一步提高。由于白茅生长快、生长密集盖度大、生物量高,因而降水的淋洗量也很大。值得注意的是,白茅群落离海较远,靠人的生产活动区较近,其植株较高大,可作牧草或编织用,有一定的经济价值,常被人们收割利用,白茅生长过程中吸收积累的各种营养元素随之从该生态系统中流失,破坏了元素的生物循环。若要保持白茅群落初级生产力的持续增长,在开发利用过程中必须避免对土壤库中贮存的各种营养元素进行过度利用,减少元素的流失,以维持系统中元素的生物循环。

参 考 文 献

- 1 刘昉勋,宗世贤,黄致远等. 1990: 南京中山植物园研究论文集,江苏科学技术出版社,南京. 64~73.
- 2 宗世贤,刘昉勋,黄致远等. 1992: 植物资源与环境 1(2): 25~30.
- 3 宗世贤,杨志斌,陶金川等. 1985: 植物生态学与地植物学学报 9(3): 192~201.
- 4 宗世贤,陶金川,杨志斌等. 1987: 植物生态学与地植物学学报 11(2): 113~123.
- 5 宗世贤,陶金川,杨志斌等. 1988: 植物生态学与地植物学学报 12(3): 222~231.