

密云水库北京集水区油松水源保护林主要养分元素积累与分配研究

刘世海, 白明洲

(北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要:对密云水库北京集水区油松水源保护林主要养分元素积累与分配的研究结果表明: 29 年生油松林的生物量为 92 627 kg/hm²。油松林不同器官中各养分元素的含量差异较大, 在叶、枝和干中各养分元素的含量顺序分别为 N(K) > K(N, Ca) > Ca(K) > Mg(P) > P(Mg)。根系中的养分元素随着根系直径的增加呈各养分元素的含量降低。油松林生态系统 5 种养分元素的贮存量为 695.17 kg/hm²。若以各养分元素在油松林生态系统中的贮存量来计, 则 N 的贮存量最大, P 的最小, 不同养分元素贮存量的顺序 N > Ca > K > Mg > P。油松林生态系统对 N 元素的富集能力最强, 不同器官中各养分元素的富集系数排序均为 N > P > K > Ca > Mg。油松林每积累 1 t 干物质需 N、P、K、Ca 和 Mg 等 5 种养分元素共计 7.51 kg。

关键词: 密云水库北京集水区; 油松水源保护林; 养分元素; 积累与分配

中图分类号: S727.21; 718.43

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0326-04

Nutrient Distribution and Accumulation Pattern of *Pinus tabulaeformis* Water Resources Protection Forest in Miyun Reservoir Watershed, Beijing

LIU Shi-hai, BAI Ming-zhou

(College of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: *Pinus tabulaeformis* is the mainly afforested tree in the Huabei district, it mainly distributed in the hilly area. The the *Pinus tabulaeformis* water resources protection, forest ecosystem, nutrient accumulation and distribution pattern are studied in the upper watershed of Miyun reservoir, north Beijing mountain area. Its results show that the total biomass of the *Pinus tabulaeformis* forest ecosystem in the stand is 92 627 kg/hm². The nutrient elements nitrogen (N), phosphors (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) concentration are analyzed in the different organs of *Pinus tabulaeformis* forest ecosystem. The five kind nutrients content in the leaves show that sequences as follows: N > K (Ca) > Ca (K) > Mg > P, in branches show that the sequence as follows: N > K > Ca > Mg > P, in truck shows that the sequence as follows: K > N > Ca > Mg > P, and in the different diameter of the root, the N, P, K, Ca and Mg content show that the concentration become smaller accompanied with the root diameter increased. The total store is 695.17 kg/hm² of the five kind nutrient elements in the *Pinus tabulaeformis* forest ecosystem. If sum up the nutrient amount according the different nutrient element, then the nutrient elements N, P, K, Ca and Mg store in the *Pinus tabulaeformis* forest ecosystem is 270.61 kg/hm², 34.22 kg/hm², 157.24 kg/hm², 184.32 kg/hm² and 48.77 kg/hm², respectively. The sequence of nutrient storage of five kind nutrient element as follows: N > Ca > K > Mg > P. The accumulation coefficient of nutrient element N is higher than others, and order of accumulation coefficient of different elements is: N > P > Ca > K > Mg. The net production of organic matter per ton needs about 7.51 kg of five elements and the order of demand as follows: N > Ca > K > Mg > P.

Key words: watershed of Miyun reservoir in; Beijing; *Pinus tabulaeformis* water resources protection forest; nutrient element; accumulation and distribution

1 前言

油松(*Pinus tabulaeformis*)林属温带性针叶林,是温带性针叶林中分布最广的一种植物群落,其分布北界为华北山地,内蒙古自治区的大青山、乌拉山以及西部的贺兰山,东部在赤峰以北的乌丹附近;西南为川陕鄂的秦巴山地海拔 1 000~1 600 m 地段,住南则被马尾松(*Pinus massoniana*)林取代;在秦岭分布于 1 400~2 000 m 的高度上;向东至淮

河流域则可分布在低矮的丘陵地。在整个暖温带落叶阔叶林区域中,除了辽东半岛东南部即千山山脉以东和胶东半岛为赤松(*Pinus densiflora*)林分布外,全区域的山地、丘陵上都广泛分布着油松林。因此油松林可以被认为是华北地区最具代表性的针叶林类型^[1]。

密云水库北京集水区分布着大量的人工油松水源保护林,油松水源保护林在人工林中所占面积最大,在水源保护林树种组成中居第二位,仅次于蒙古栎,集水区共有油松林

* 收稿日期: 2006-05-30

基金项目: 国家自然科学基金(批准号 50409006)项目资助

作者简介: 刘世海(1970-),男,高工,博士,主要研究方向:水土保持与荒漠化防治。

42 598 hm², 占水源保护林总面积的 18.1%, 占总蓄积的 17.4%, 每公顷蓄积量 10.95 m³[2]。研究密云水库北京集水区油松水源保护林主要养分元素的生物循环, 探讨其主要养分元素的积累与分配规律, 为密云水库北京集水区人工油松水源保护林的经营与管理提供理论依据。

2 研究区概况及研究方法

2.1 研究区概况

研究区位于北京市密云县境内的密云水库上游, 处于 116°31′ ~ 117°31′ E 和 40°13′ ~ 40°48′ N 之间。气候类型属于暖温带半湿润季风型气候, 年平均温度 10.5℃, 极端最低温 -18℃, 极端最高温 38℃, 无霜期 176 d, 多年平均降水量 669 mm, 主要集中在 6~8 月份, 雨热同期。地带性植被为暖温带落叶阔叶林区, 现状植被以灌木丛为主。主要人工植被为油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林和刺槐 (*Rolinia pseudoacacia*) 林, 土壤为褐土和潮土。

2.2 研究方法

标准地布设在北京市密云县北庄乡的油松林地内选择了 5 块标准地, 标准地面积为 20 m × 30 m, 进行每木检尺, 并解析平均标准木, 获得生物量。同时在 5 块标准地中收集凋落物样, 标准地立地条件和林分特征如表 1 所示。

表 1 油松林标准地基本情况调查表

标准地号	密度/(株·hm ⁻²)	年龄/a	郁闭度	坡向	坡度/°	土层厚/cm	胸径/cm	树高/m	枯落物厚/cm		
01	1850	32	0.83	北偏东	30	中部	直	40	11.83	7.2	12
02	2025	32	0.86	北偏东	25	中部	直	40	11.51	7.9	10
03	1125	25	0.68	北坡	25	中部	凸	25	12.59	6.4	8
04	1175	30	0.68	北偏西	27	中上	凸	22	12.46	6.3	9
05	2355	26	0.90	北偏西	26	中下	凸	35	10.07	5.8	10

分析方法。分别测定油松林各器官和土壤中 5 种主要养分元素的浓度、在主要降水期测定大气降水中 5 种主要养分元素的浓度, 具体测定方法如下:

植物样品采集。在油松林标准地中分别选择 1 株平均标准木进行解析, 获得油松林生物量资料和各器官样品, 将样品先在 105℃ 下短时间杀青后在 60~70℃ 烘干、粉碎, 装瓶、贴签备用。

植物样分析。N 用硫酸-高氯酸消煮-靛酚蓝分光光度法, P 用硝酸-高氯酸消煮-钼锑抗分光光度法, K 用硝酸-高氯酸消煮-火焰光度法, Ca、Mg 用硝酸-高氯酸消煮-原子吸收分光光度法^[3]。

土壤样品采集。在标准地内按“S”形分别布设了 5 个样点挖掘土壤剖面, 按 0~15 cm 和 15~30 cm 2 个层次取样, 每个点取样 1000 g 带回实验室做土壤化学测定。土壤容重用环刀法测定, 每个点重复 4~5 次。

土壤样品分析方法。全 N 用半微量凯氏法, 铵态氮用氯化钾浸提-靛酚蓝比色法, 全 P 用钒钼酸-高氯酸消煮-钼锑抗比色法, 有效磷用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法, 全 K 用钒钼酸-高氯酸消煮-火焰光度法, 速效钾用乙酸铵浸提-火焰光度法, 全 Ca、Mg 用碳酸钠碱熔-盐酸提取-原子吸收分光光度法, 交换性钙、镁用 1 mol/L 乙酸铵交换-原子吸收分光光度法^[4]。

大气降水样采集。在密云县北庄乡水源保护林试验站雨量观测点收集大气降水样, 每次降水后及时测定各养分元素浓度。

大气降水样分析。全 N 用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法, 全 P 用钼酸铵分光光度法, K 用火焰光度法, Ca、Mg 元素用原子吸收分光光度法^[5]。

3 结果分析与讨论

3.1 油松林生物量测定

将 5 块标准地各器官生物量的均值作为研究区油松林各器官的生物量, 并依此计算出各器官的生物量分配比, 各标准地的生物量测定结果见表 2, 油松林平均生物量为 92 627 kg/hm²。

表 2 油松林标准地生物量测定结果

标准地号	标准株干重/kg				林分密度/(株·hm ⁻²)	林分各部分生物量干重/(kg·hm ⁻²)				合计
	干	枝	叶	根		干	枝	叶	根	
01	29.54	11.27	8.63	4.66	1850	54649	20850	15966	8621	100086
02	30.40	7.56	6.42	6.38	2025	61560	15309	13001	13325	103195
03	37.88	18.37	10.34	13.33	1125	42615	20666	11633	14996	89910
04	27.34	11.21	4.42	7.26	1175	32125	13172	5194	8531	59022
05	24.96	7.77	7.65	6.72	2355	58781	18298	18016	15826	110921
均值	30.02	11.24	7.49	7.71	1706	49946	17659	12762	12360	92627

在林分生物量的分配中, 5 块标准地中树干平均重量为 49 946 kg/hm²; 枝平均重量为 17 659 kg/hm²; 叶平均重量为 12 762 kg/hm²; 根平均重量为 12 260 kg/hm²。依此得出干: 枝: 叶: 根的分配比为 54: 19: 14: 13。

叶生物量中, 经对标准株的叶总量的测定得出一年生叶与多年生叶之间的比例关系为 24.18: 73.82, 由此得出不同叶龄的针叶在油松林叶生物量中的分配为 1 年生叶生物量 3 086 kg/hm², 多年生叶生物量为 9 676 kg/hm²。根据油松叶生物量的分配及其它器官生物量的分配比例可得出油松林平均年生生长量。油松林针叶年均生长量为 3 086 kg/hm², 干年均生长量为 1 722 kg/hm², 枝年均生长量为 609 kg/hm², 根系年均生长量为 423 kg/hm², 则油松林年均生长量为 5 840 kg/hm²。

3.2 油松林各器官养分元素浓度测定

油松林各器官的养分浓度如表 3 所示, N、P、K、Ca 和 Mg 等 5 种元素在油松不同器官中的浓度呈现如下规律: 不同器官中 5 种元素浓度顺序均为叶 > 枝 > 干, 小根 > 大根 > 根颈, 小于 2 mm 的毛根中的养分浓度小于或接近叶子中的养分浓度。针叶中的营养元素的中 N、P、K、Mg 的浓度在一龄叶中的最高, 二、三龄叶中的浓度有所降低, 二龄叶中的浓度均大于三龄叶中的浓度; Ca 在三龄叶中的浓度最高, 一龄叶中的浓度最低, 二龄叶中的浓度居中。

表 3 油松林各器官养分元素含量 %

项目	器官	N	P	K	Ca	Mg
地上部分	一年生	0.9521	0.1308	0.6159	0.4203	0.1970
	二年生	0.8903	0.1125	0.5474	0.7005	0.1623
	三年生	0.8624	0.0992	0.4225	0.6306	0.1189
	枝	0.4925	0.0561	0.3425	0.1854	0.0827
地下部分	干	0.0687	0.0103	0.1059	0.0623	0.0221
	< 2 mm	0.4440	0.0750	0.7980	0.4130	0.1468
	2~10 mm	0.3850	0.0685	0.3254	0.2576	0.0303
	> 10 mm	0.3008	0.0342	0.2584	0.0821	0.0211
	根干	0.1528	0.0098	0.1859	0.0672	0.0172

若以不同养分元素而论, 地上部分中针叶 5 种养分元素的浓度仍以 N 的浓度最高, Ca、K 的浓度基本接近, P 与 Mg 的浓度也基本接近。一龄叶中 5 种元素的浓度大小顺序是 N > K > Ca > Mg > P, 二、三龄叶是 N > Ca > K > Mg > P; 枝中各元素的浓度大小排序结果是 N > K > Ca > Mg > P, 与一龄叶中各养分元素的浓度顺序一致; 干中的养分元素浓度大小顺序是 K > N > Ca > Mg > P, 与叶、枝中的浓度顺序差异较大, 针叶和枝中 N 的浓度均居首位, 而在干中其浓度降

低, Mg 与 P 的浓度顺序未改变。

3.3 油松水源保护林生态系统养分元素积累与分配

据油松各器官中养分元素的浓度和各器官的生物量可求得油松林不同器官的养分元素贮存量(表 4), 油松林 5 种养分元素贮存总量为 695.17 kg/hm², 叶中贮存的养分元素量为 291.94 kg/hm², 占贮存总量的 41.99%, 枝中贮存的养分元素量为 206.33 kg/hm², 占贮存总量的 29.68%, 树干中贮存的养分元素量为 110.09 kg/hm², 占贮存总量的 15.84%, 根系中贮存的养分元素量为 86.81 kg/hm², 占总养分贮存量的 12.49%。各器官中养分元素贮存量大小排序是叶> 枝> 干> 根。

表 4 油松林各器官养分元素贮存量 kg/hm²

器官	叶	枝	干	根	合计
N	115.06	86.98	34.31	34.26	270.61
P	14.57	9.91	5.14	4.60	34.22
K	67.46	32.74	28.52	28.52	157.24
Ca	74.51	62.09	31.10	16.63	184.33
Mg	20.34	14.61	11.02	2.80	48.77
合计	291.94	206.33	110.09	86.81	695.17

若以各养分元素的贮存量来计, 则几种养分元素中贮存量最高的是 N, 贮存量 270.61 kg/hm², 占贮存总量的 38.93%; 其次是 Ca, 贮存量为 184.32 kg/hm², 占贮存总量的 26.52%; K 居第 3 位, 贮存量为 157.24 kg/hm², 占贮存总量的 22.62%; 居第 4 位的是 Mg, 其贮存量为 48.77 kg/hm², 占总贮存量的 7.01%; 最小的是 P, 其贮存量为 34.22 kg/hm², 占总贮存量的 4.92%。此与沈国舫等的研究结果一致^[6], 与陈灵芝等的研究结果各化学元素中贮存量大小的顺序 Ca> N> Mg> K> P> Fe> Al 略有差异^[7]。

油松林土壤层 30 cm 的养分贮存量见表 5, 土壤层中 5 种养分元素贮存量为 203 419.60 kg/hm², 其中 Mg 的贮存量最大, Ca 次之, K 居第三位, Mg、Ca 和 K 的贮存量之和占总养分元素贮存量的 96.78%。土壤层中 5 种元素的有效养分贮存量为 21 042.47 kg/hm², 可见 5 种养分在土壤中的贮量远远大于油松林养分元素贮存量, 土壤层中的养分贮存量占绝对优势。油松林养分贮存量仅为 695.17 kg/hm², 是土壤层中总养分贮存量的 0.34%, 是土壤层有效养分贮存量的 3.30%, 土壤层中 5 种元素的有效养分贮存量大小排序是 Ca> Mg> K> N> P。

由此可见, 在森林生态系统中土壤层中 5 种元素的有效养分贮存量占整个系统中养分贮存量的绝大部分, 土壤层> 油松林层, 油松林养分贮存量只占其中很少的一部分。

3.4 油松水源保护林养分元素利用特征

森林植物所需的养分元素主要是通过根系从土壤中吸收获得, 并根据其需求状况在体内进行适度的积累^[8]。其养分元素含量与土壤中养分元素含量之间的关系, 反映了森林植物与

土壤之间养分物质交换的特点。植物体中养分元素含量取决于植物种类和器官, 也与土壤中可给态元素的量密切相关^[9]。

表 5 油松林土壤养分贮存量 kg/hm²

土壤层次/cm	项目	0~ 15		15~ 30		合计
		浓度/%	贮存量	浓度/%	贮存量	
有效养分 贮存量/ (kg·hm ⁻²)	N	0.0025	50.25	0.0021	45.93	96.18
	P	0.0009	18.09	0.0001	2.19	20.28
	K	0.0208	418.08	0.0154	336.80	754.88
	Ca	0.4651	9348.51	0.3968	8678.02	18026.53
	Mg	0.0536	1077.36	0.0488	1067.26	2144.62
合计			10912.29		10130.18	21042.47
土壤养分 全量贮存量/ (kg·hm ⁻²)	N	0.0982	2062.20	0.0947	2071.09	4133.29
	P	0.0568	1192.80	0.0557	1218.16	2410.96
	K	1.3572	28501.20	1.2103	26469.26	54970.46
	Ca	1.6885	35458.50	1.5708	34353.40	69811.90
	Mg	1.7362	36460.20	1.6293	35632.79	72092.99
合计			103674.90		99744.70	203419.60

养分元素的利用特征用富集系数和利用效率来表征^[10, 11], 富集系数是生态系统植物体各组分养分元素含量与土壤层中养分元素含量之比值, 不同层次或群落对不同养分元素的富集能力不一, 富集系数的大小不仅与植物对养分元素的需要强度有关, 而且与土壤中养分元素的存在状态、土壤养分元素含量有关。

表 6 给出了油松林各元素的富集系数, 所有元素在叶片中的富集系数均比其它器官中的富集系数大, 不同器官中元素的富集系数均是 N> P> K> Ca> Mg, 同一元素在不同器官中的富集系数呈如下规律, 针叶> 枝> 根> 干。

表 6 油松林各器官营养元素的富集系数

项目	营养元素的富集系数 a				
	N	P	K	Ca	Mg
叶片	9.1813	2.0100	0.3895	0.3458	0.0918
枝	5.0153	0.9877	0.2524	0.1098	0.0476
干	0.6996	0.1813	0.0780	0.0369	0.0127
根	2.8466	0.6602	0.1890	0.0803	0.0132

a 富集系数= 植物养分含量/土壤层养分含量。

利用效率表征的物理意义是指森林生态系统每生产 1t 生物量所需的养分元素的量, 它建立了森林生态系统的养分贮存量与生物量之间的关系, 表 7 给出了不同区域油松林地的养分元素利用效率。研究区域油松林每积累 1t 干物质需 N、P、K、Ca 和 Mg 等养分元素共计约 7.51 kg, 所需养分元素顺序为 N> Ca> K> Mg> P, 由表中可知油松对 N 和 Ca 的需求量远大于其它三种元素, P 的需求量较小。密云水库北京集水区油松水源保护林的养分元素利用效率与北京西山油松林和养分元素的利用效率接近^[6, 7, 13], 但小于陕北黄土高原丘油松林的养分元素的利用效率^[14]。

表 7 不同区域刺槐林分的养分元素利用效率

林分	林龄 /a	密度/ (株·hm ⁻²)	生物量/ (t·hm ⁻²)	养分累积总量 /(kg·hm ⁻²)	养分元素利用效率/(kg·t ⁻¹)					文献	
					N	P	K	Ca	Mg		Total
油松林	29	1706	92.627	695.17	2.92	0.37	1.70	1.99	0.53	7.51	本文
油松林	26	2150	54.881	498.98	3.22	0.38	2.47	2.56	0.46	9.09	[10]
油松林	26	4330	71.857	606.07	2.96	0.36	2.32	2.39	0.41	8.43	[10]
油松林	24	3320	93.981	840.10	3.08	0.36	2.52	2.54	0.44	8.94	[12]
油松林	28	2033	82.324	575.46	2.49	0.33	1.70	1.93	0.53	6.99	[6]
油松林	28	1700	42.459	284.94	2.44	0.31	0.65	2.72	0.58	6.71	[7, 13]
油松林	21	5300	54.881	668.75	4.48	0.51	3.68	2.88	0.64	12.19	[14]

4 结论

(1) 研究地点 29 年生油松林的生物量为 92 623 kg/hm², 在不同器官的分配是叶为 12 762 kg/hm²; 干为 49 946 kg/hm²; 枝为 17 659 kg/hm²; 根为 12 260 kg/hm², 依次是干> 枝> 叶> 根。

(2) 油松林各器官中养分元素含量差异较大, 5 种元素在地上器官中的含量顺序均为叶> 枝> 干, 在根系中的含量顺序为小根> 大根> 根颈。针叶中的 N、P、K、Mg 的含量在一龄叶中的最高, 二、三龄叶中的含量有所降低, 二龄叶中的含量均大于三龄叶中的含量, 唯独 Ca 的含量与此不符, Ca 参考文献:

- [1] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980. 212.
- [2] 余新晓, 于志民, 王礼先, 等. 水源保护林培育经营管理评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 24.
- [3] 董鸣, 王义凤, 孔繁志, 等. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996. 152-159.
- [4] 刘光崧, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996. 121-192.
- [5] 谢贤群, 王立军. 水环境要素观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1998. 279-297.
- [6] 沈国舫, 董世仁, 聂道平, 等. 油松人工林营养循环研究 I: 营养元素的含量及分布[J]. 北京林业大学学报, 1985, 7(4): 1-14.
- [7] 陈灵芝, 胡肆慧, 孔繁志, 等. 人工油松林的化学元素特征[J]. 植物学报, 1987, 29(3): 302-308.
- [8] 刘茜, 项文化, 蔡宝玉, 等. 湿地松人工林养分循环及密度关系的研究[J]. 林业科学, 1998, 34(3): 11-17.
- [9] I J Fernander, R A Strcht emeyer. Correlation between element concentration in spruce foliage and forest soils[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 1984, (15): 1243-1255.
- [10] 高甲荣, 肖斌. 桥山林区油松人工林营养元素分配与积累的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 667-671.
- [11] 刘广全, 倪文近, 刘慧芳, 等. 秦岭南坡锐齿栎林的生态环境及其营养积累[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 513-518.
- [12] 高甲荣. 秦岭火地塘林区油松人工林营养元素生物循环的研究[J]. 西北林学院院报, 1987, 2(1): 23-35.
- [13] 陈灵芝, 任继凯, 鲍显诚, 等. 北京西山(卧佛寺附近)人工油松群落特征及生物量研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1984, 8(3): 173-181.
- [14] 高甲荣, 张东升, 肖斌, 等. 黄土区油松人工林生态系统营养元素分配格局和积累的研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(1): 26-30.

(上接第 325 页)

4.4 计算样本因子得分

在对实际问题的分析研究中, 往往希望得到每个样本在不同因子上的具体得分 F_{ij} , 从而计算各样本的综合得分 F_i , 结果见表 7。

$$F_{ij} = \sum_{k=1}^8 x_{ik} \cdot p_{jk} \quad (5)$$

$$F_i = \sum_{j=1}^3 F_{ij} \cdot \lambda_j / \sum_{j=1}^3 \lambda_j \quad (6)$$

式中: x_{ik} ——标准化后的第 i 个断面第 k 个变量的数值($i=1, 2, \dots, 6; j=1, 2, 3$), p_{jk} ——第 k 个变量在第 j 个主因子上经旋转的载荷。

表 7 样本因子得分

No	Y(i, 1)	Y(i, 2)	Y(i, 3)	综合得分
坝前	-3.66988	-0.02872	4.23215	-1.11875
库中	0.19812	0.3649	-6.28357	-0.9018
东叉中	-11.4546	-3.71147	25.73485	-2.40504
东叉头	5.6084	0.22519	-10.0909	1.122579
西叉中	-0.98237	1.90749	1.84827	0.430589
西叉头	10.30029	1.24261	-15.4408	2.872424

参考文献:

- [1] 郑丹, 陈春云. 环境系统数学模型[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 80.
- [2] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999. 154-162.

在二龄叶中的含量最高, 一龄叶中的含量最小, 三龄叶中的含量居中。

(3) 油松林养分元素贮存总量为 695.17 kg/hm², 叶中贮存的养分总量为 291.94 kg/hm², 树枝中贮存的养分总量为 206.33 kg/hm², 树干中贮存的养分总量为 110.09 kg/hm², 根系中贮存的养分总量为 86.81 kg/hm². 各器官中养分贮存量大小排序为叶> 枝> 干> 根。

(4) 油松林中 N 元素是 5 种养分元素中富集能力最强的元素, 不同器官富集系数总的趋势是叶> 枝> 根> 干。油松林生态系统每积累 1 t 干物质需 N、P、K、Ca 和 Mg 元素共计 7.51 kg, 所需的养分元素的顺序为 N> Ca> K> Mg> P。

分析表 8 可以得出, 在汤河水库的 6 个监测断面中, 西叉头和东叉头断面的得分最高, 西叉中断面的得分次之, 而坝前和库中断面的得分较低, 从而也反映了各断面营养水平排名。除了东叉中断面, 其他断面的营养水平排序与综合营养状态指数法的评价结果一致。

5 结论

因子分析的出发点是用较少的相互独立的因子变量来代替原有变量的大部分信息。本文运用因子分析法, 对水体富营养化评价过程中经常使用的指标进行了分析研究, 在该几项指标中, 氮、磷、生化需氧量和水温在第一主因子上的载荷较大, 化学需氧量和溶解氧对第二主因子的贡献较大, 而第三主因子则体现了水体富营化的表征指标, 透明度和叶绿素 a 含量。通过对以上各指标的因子分析, 表明汤河水库富营养化的主要影响因素为营养物质氮、磷的输入和水温, 与一般认为氮、磷是水体富营养化主要影响因素的结论相同, 而样本因子得分也符合综合营养状态指数法对各断面的评价结果。因此认为因子分析法在汤河水库富营养化的研究中较为适用, 可以为富营养化的防治提供决策建议。