

小叶章草地生态系统结构与功能的研究*

IV 能量的固定和分配

马克平

(中国科学院植物研究所, 北京, 100044)

5812

Q948.158

A

摘要 小叶章草地生态系统年净初级生产力为 $30579.17 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$, 其中地上净初级生产力占 37.64%, 地下净初级生产力占 62.36%。不同植物器官(组分)的能量现存量差异很大。上部根(0—20cm 土层中的根)占植物亚系统总能量现存量的 54.87%, 茎的能量现存量仅占 0.03%, 其它器官的能量现存量从大到小依次为: 茎 > 叶 > 根茎 > 枯落物 > 下部根茎 > 死根。不同植物器官(组分)热值含量水平亦存在较大差异, 以去灰分热值比较, 由大到小的顺序为: 茎 > 根颈 > 死根 > 上部根 > 叶 > 枯落物 > 根茎 > 茎 > 下部根。

关键词: 小叶章, 草地, 能量, 固定, 分配。

生态学

生态系统生产力的形成过程是能量固定、积累和转化的过程, 是生态系统能量流动过程的主体。太阳辐射能进入小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)草地生态系统后, 只有一小部分能量被植物的光合作用所固定^[1]。其中, 又有一半以上的能量被植物体的呼吸作用所消耗。余者则以有机物的形式积累下来, 成为可资利用的生物潜能。本文旨在分析、探讨小叶章草地通过净光合作用积累能量进而形成各种含能产品的第一性生产过程。

1 研究地区自然概况与研究方法

本项工作于 1988—1989 年在黑龙江省宝清原种场进行, 有关的自然环境概况请见文献 [1] 和 [2]。

生物量的测定方法请见文献 [1] 和 [3]。植物热值利用日本产 YM-NENKEN 型氧弹式热量计测定。

2 结果与分析

2.1 能量含量的分布与动态

能量含量可以植物的热值来表征。植物热值即 1g 干物质在完全燃烧条件下, 冷却到原来温度时所释放的能量数^[4,5]。植物热值较之有机物重量更直接地反映了植物对太阳能的转化效率。是生态系统能量流动研究中十分重要的指标。

2.1.1 能量含量的种群分布 小叶章草地生态系统年净初级生产力为 $30579.17 \text{ kJ/m}^2/\text{a}$, 其中地上净初级生产力占 37.64%, 地下净初级生产力占 62.36%。小叶章草地以小叶章占绝对优势, 其生物量占群落总生物量的 97.15%, 苔草(*Carex schmidtii*)居第二位, 占 2.11%, 二者合计为 99.26%, 故此二者的能量含量水平即可代表整个群落。以全生长季平均计, 小叶章热

* 本项工作系国家“七五”攻关项目 75—04 的一部分。

致谢: 在东北林业大学周以良教授指导下完成, 黑龙江省科学院自然资源研究所周瑞昌研究员提供部分资助。

收稿日期 1994 02 10, 修改稿收到日期, 1994 09 05。

值为 17398.24J/g, 苔草为 17950.91J/g。小叶章热值略低于苔草热值, 后者比前者高 3.18%。以去灰分热值计, 小叶章为 18805.85J/g, 苔草为 19333.30J/g。与高寒草甸植物热值相比, 此二植物均属杨福国等划分的第一类(即干重热值在 16747.20J/g 以上)植物, 为高热值含量植物^[6]。小叶章及苔草的热值略低于羊草的热值, 后者为 19714.42J/g^[7]。

2.1.2 能量含量的器官分布 小叶章草地不同植物器官能量含量的状况以小叶章为例进行分析, 结果列于表 1。由表可见, 各器官平均干重热值为 16371.03±1730.87J/g, 变动于 12553.42 至 18539.15J/g 之间, 极差为 5985.73J/g。各器官中以小叶章穗的能量含量最高, 下部根(21—50cm 土层中的根)最低, 由大到小的顺序为:

穗>叶>茎>根茎>枯落物>死根>根颈>上部根>下部根

各器官去灰分热值平均为 18635.22±1052.99J/g。极差为 3364.96J/g。平均值高于干重热值的平均值, 但极差却明显小于干重热值之极差, 仅为后者的 56.22%。从变异系数上也可以看出这一特点。其原因在于某些器官干重热值低受样品中灰分含量的影响较大, 以地下器官表现最明显。可以认为, 去灰分热值更加客观地反映了含能产品能量含量的真实情况, 较之干重热值效果更好。以去灰分热值表征的各器官热值含量的顺序为:

穗>根颈>死根>上部根>叶>枯落物>根茎>茎>下部根

比较以干重热值排列的顺序和以去灰分热值排列的顺序可以发现, 二者有较大的差别。总的趋势是以干重热值排列的顺序中, 地上器官皆排在前半部; 而去灰分热值排列的顺序中, 地下器官的位置明显前移。反映了灰分含量对于植物热值的影响。对灰分与热值之间的关系进行回归分析, 得回归模型如下:

$$Y = 18249.14 - 142.63X$$

式中 Y: 植物热值, 单位 J/g; X: 灰分含量, 单位 g/100g。

小叶章灰分含量与植物热值间存在显著的线性相关关系。相关系数为:

$$r^2 = -0.7797$$

表 1 小叶章不同器官的能量含量(1989, 宝清)
Table 1 The caloric value in different organs of *Calamagrostis angustifolia* (Baoqing, 1989)

| 器官 Organ | 干重热值(J/g) Caloric value including ash | 去灰分热值(J/g) Caloric value excluding ash |
|-----------------|---|--|
| 茎 Stem | 17241.24±736.88 | 18043.07±771.15 |
| 叶 Leaf | 17391.97±481.15 | 19014.89±526.05 |
| 穗 Spike | 18539.15±382.29 | 19668.10±405.57 |
| 根颈 Root crown | 16220.71±815.95 | 19638.26±987.86 |
| 根茎 Rhizome | 17081.31±278.96 | 18117.31±295.88 |
| 上部根 Upper roots | 14921.76±1544.71 | 19129.24±1980.27 |
| 下部根 Lower roots | 12553.42±3735.22 | 16303.14±4850.94 |
| 枯落物 Litter | 16861.64±499.78 | 18577.59±550.64 |
| 死根 Dead root | 16528.09±314.21 | 19225.42±365.49 |
| 平均 Mean | 16371.03±1730.87 | 18635.22±1052.99 |

2.1.3 能量含量的季节变化 随着生长季的推移, 小叶章生长发育节律发生相应的变化。与此相适应, 各器官的能量含量也必然发生不同程度的变化。其变化的基本规律如表 2 所示。从表中可见, 大多数器官热值的季节变幅不大, 唯地下器官, 特别是活根的干重热值变化较大。下部根干重热值极差为 7452.51 J/g, 为其平均数的 59.37%。去除灰分后, 极差减小到 1605.99J/g, 仅为其平均值的 9.85%。灰分含量受人为影响较大。特别是地下器官, 根系盘根错节, 很难将附着其上的土壤彻底洗净。洗涤程

度, 洗涤用水等都将影响灰分含量水平。因此, 在可能的情况下, 应以去灰分热值表征植物的能量含量。

表 2 小叶章不同器官热值的季节变化(1989,宝清)

Table 2 The seasonal dynamics of caloric value in different organs of *Calamagrostis angustifolia* (Baoqing, 1989)

| 器官 Organ | 日期 Date | 物候期 Phenophase | 干重热值 Caloric value including ash | 去灰分热值 Caloric value excluding ash |
|------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 茎 Stem | 1989 05 03 | 返青期(RS) | 17019.34 | 18395.31 |
| | 1989 06 15 | 抽穗期(ES) | 17634.80 | 18404.09 |
| | 1989 08 01 | 果后期(PS) | 17119.83 | 17651.12 |
| | 1989 09 25 | 枯黄期(WS) | 18208.39 | 19004.69 |
| 叶 Leaf | 1989 05 03 | 返青期(RS) | 17689.23 | 19248.35 |
| | 1989 06 15 | 抽穗期(ES) | 17546.88 | 18730.66 |
| | 1989 08 01 | 果后期(PS) | 17655.74 | 19519.88 |
| | 1989 09 25 | 枯黄期(WS) | 16676.02 | 18563.98 |
| 根颈 Root crown | 1989 05 03 | 返青期(RS) | 15352.99 | 19013.44 |
| | 1989 06 15 | 抽穗期(ES) | 16931.42 | 18304.24 |
| | 1989 08 01 | 果后期(PS) | 15696.31 | 17713.92 |
| | 1989 09 25 | 枯黄期(WS) | 16902.11 | 18524.89 |
| 根茎 Rhizome | 1989 05 03 | 返青期(RS) | 16818.38 | 18068.74 |
| | 1989 06 15 | 抽穗期(ES) | 17174.25 | 17936.56 |
| | 1989 08 01 | 果后期(PS) | 16763.95 | 18021.87 |
| | 1989 09 25 | 枯黄期(WS) | 17241.24 | 18374.98 |
| 上部根 (0—20cm) Upper roots | 1989 05 03 | 返青期(RS) | 15667.01 | 18457.83 |
| | 1989 06 15 | 抽穗期(ES) | 13803.88 | 18484.08 |
| | 1989 08 01 | 果后期(PS) | 14276.99 | 19117.55 |
| | 1989 09 25 | 枯黄期(WS) | 16684.40 | 19425.31 |
| 下部根 (21—50cm) Lower roots | 1989 05 03 | 返青期(RS) | 15667.01 | 19370.68 |
| | 1989 06 15 | 抽穗期(ES) | 8976.49 | 17764.69 |
| | 1989 08 01 | 果后期(PS) | 12254.76 | 19292.76 |
| | 1989 09 25 | 枯黄期(WS) | 16429.00 | 19228.70 |
| 枯落物 Litter | 1989 05 03 | | 16398.21 | 17892.32 |
| | 1989 06 15 | | 16747.20 | 18077.72 |
| | 1989 08 01 | | 17408.71 | 18936.92 |
| | 1989 09 25 | | 16429.00 | 18728.91 |
| 死根 Dead root | 1989 05 03 | | 16374.57 | 19004.85 |
| | 1989 06 15 | | 16411.24 | 19431.58 |
| | 1989 08 01 | | 16320.15 | 19556.80 |
| | 1989 09 25 | | 16889.55 | 19129.63 |

注:RS—regreening stage; ES—earring stage; PS—post-fruiling stage; WS—withered stage.

按各器官去灰分热值季节变化程度(以变异系数表征)考察,下部根变幅最大,上部根次之,根茎最小,其顺序为:下部根>上部根>茎>枯落物>叶>根颈>死根>根茎

为了更好地了解小叶章不同器官(组分)能量含量的季节变化规律,特将茎、叶、上部根、下部根及枯落物热值的季节变化情况绘于图 1。由图可见,不同器官能量含量的季节变化趋势存在明显差别。茎中热值 8 月最低,9 月最高。叶中热值则与此相反,8 月最高,9 月最低,这一趋势可能与秋季叶片养分回流有关。下部根热值季节变化曲线近于“V”字形,最小值出现在 6 月,最大值出现在 5 月。上部根热值季节变化近于单调上升的指数型曲线,生长季末期热值最高。枯落物热值的季节变化趋势与上部根相近。

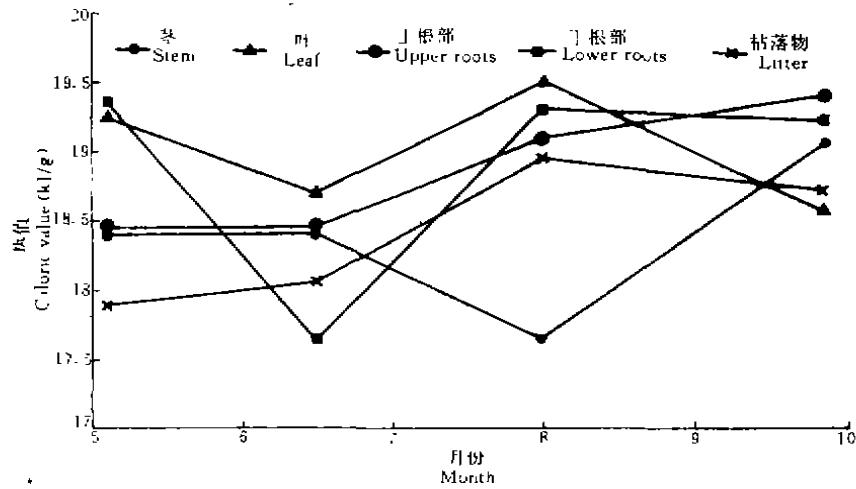


图1 小叶章主要器官(组分)去灰分热值的季节动态(1989,宝清)

Fig. 1 The seasonal dynamics of calorific value excluding ash in main organs/parts of *Calamagrostis angustifolia* (Baoqing, 1989)

2.2 能量现存量的分配与变化

能量现存量系指生态系统中,某一时刻单位面积内全部或某类有机体或其组分中所含有的能量^[4]。小叶章草地生态系统能量现存量绝大部分集中于植物亚系统中。下面仅就植物亚系统特别是小叶章种群能量现存量的分配与季节变化予以分析。

2.2.1 种群分配及其季节变化

在生长季的不同时期,小叶章草地生物量,特别是地上生物量的变化较大。不仅群落总生物量存在季节变化,构成群落的不同种群的生物量的相对比例也在不断变化。加之,不同种群能量含量即植物热值的季节变化规律存在差异,致使不同种群的能量现存量的季节变化差异较大。为了便于比较,本文采用小叶章草地总地上生物量达最大值时的各种群生物量及其相应的能量含量(热值)为计算依据,比较种群间能量现存量的差异。据此,求得小叶章草地主要种群的能量现存量为:小叶章 16549.05 kJ/m^2 ;苔草, 319.25 kJ/m^2 。前者为后者的 51.84 倍。由于其它杂类草的生物量仅占总生物量的 0.40%,故此忽略不计。

图2显示了小叶章种群地上部分能量现存量的季节变化。从图中可以看出,小叶章种群能量现存量的最大值出现在8月初,其季节变化曲线呈抛物线形,与地上生物量季节动态曲线相近。苔草能量现存量的最大值出现在7月初,其季节动态曲线近于抛物线形,但又不甚规范。比较能量现存量曲线与地上生物量曲线可知,二者的变化趋势十分相似(详见图3)。由此,可以说明能量现存量的季节动态主要受生物量的季节变化的影响。而能量含量(热值)的影响则小得多,有时几乎完全被掩盖了。

2.2.2 器官(组分)分配及其季节变化

小叶章草地不同器官(组分)的能量现存量在数量上存在较大差异。由表3可见,上部根的能量现存量占小叶章草地能量现存量总量的 54.87%,茎居第二位,为 18.57%,能量现存量最小的器官为穗。虽然其能量含量最高,但由于生物量太小而导致能量现存量最小。其分配比仅为 0.03%,比分配比最大的上层根小 1828 倍。这一数

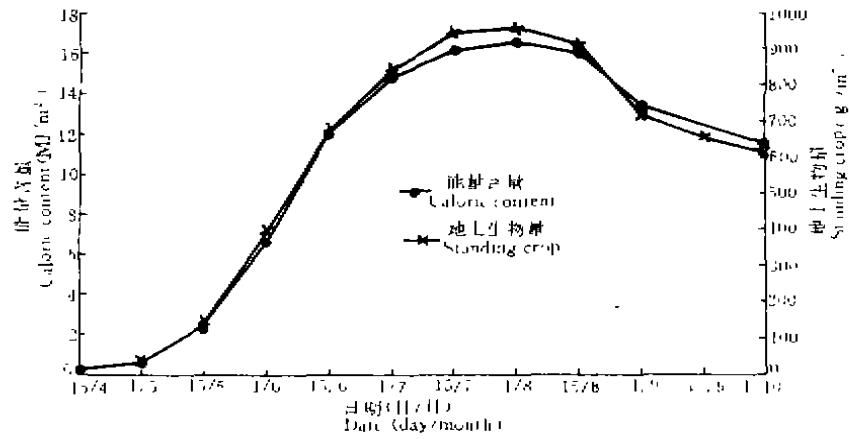


图 2 小叶章种群地上部能量现存量 and 生物量的季节变化(1988, 宝清)

Fig. 2 The seasonal dynamics of aboveground caloric content of *Calamagrostis angustifolia* population (Baoqing, 1988)

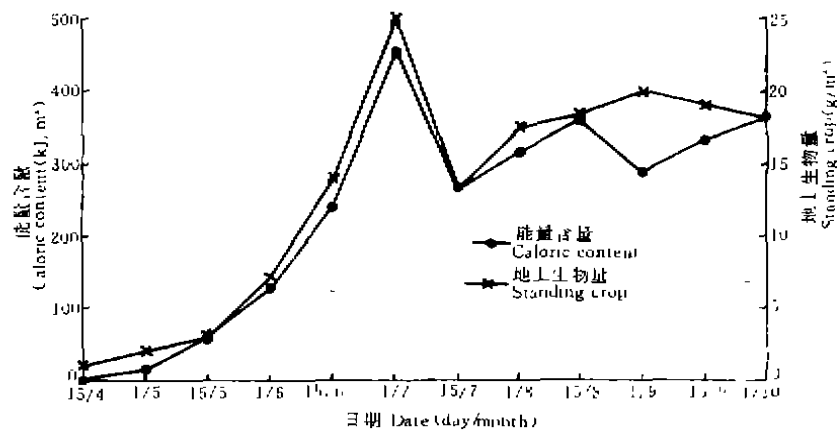


图 3 苔草种群地上部能量现存量 and 生物量的季节变化(1988, 宝清)

Fig. 3 The seasonal dynamics of aboveground caloric content of *Carex schmidtii* population (Baoqing, 1989)

值说明, 小叶章草地用于有性繁殖的能量很少, 其有性繁殖能力一定很差。无性繁殖器官中的能量约占总能量现存量的 11% 左右, 远大于有性繁殖器官中的能量。各器官(组分)能量现存量的顺序为: 上部根 > 茎 > 叶 > 根颈 > 根茎 > 枯落物 > 下部根 > 死根 > 穗。

如果将表 3 中的器官(组分)分成 3 部分, 即地上活体、地下活体及枯落物, 并统计各部分的能量现存量, 可以发现: 69.61% 的能量集中于地下活体中, 25.11% 存在于地上活体中, 仅有 5.28% 存在于地上地下的死体中。该比例与林地^[3]能量现存量的分配比相差甚远, 与松嫩平原羊草草地的分配比相似^[7] 但又不尽相同(详见表 4)。

表 3 小叶章草地不同器官(组分)能量现存量的分配(1989年8月1日,宝清)

Table 3 The allocation of caloric content in different organs of *Calamagrostis angustifolia* (Baoqing, August 1989 08 01)

| 器官(组分) Organ | 能量含量 (J/g) Caloric value | 生物量 (g/m ²) Biomass | 能量现存量 (kJ/m ²) Caloric content | 所占比率 (%) Ratio |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|----------------------|
| 穗 Spike | 18539.15 | 0.89 | 16.49 | 0.03 |
| 叶 Leaf | 17655.74 | 230.10 | 4062.58 | 6.51 |
| 茎 Stem | 17119.83 | 676.76 | 11586.01 | 18.57 |
| 根颈 Root crown | 15696.31 | 246.78 | 3873.53 | 6.21 |
| 根茎 Rhizome | 16763.95 | 179.28 | 3005.44 | 4.82 |
| 上部根 Upper roots | 14276.99 | 2398.10 | 34237.64 | 54.87 |
| 下部根 Lower roots | 12254.76 | 189.00 | 2316.14 | 3.71 |
| 枯落物 Litter | 17408.71 | 144.86 | 2521.82 | 4.04 |
| 死根 Dead root | 16320.15 | 47.45 | 774.31 | 1.24 |
| 总计 Total | — | 4113.22 | 62394.02 | 100.00 |

表 4 不同类型生态系统能量现存量的分配比较(MJ/hm²)Table 4 The comparison of caloric content in different ecosystems (MJ/hm²)

| 生态系统类型 Ecosystem | 地上活体 Aboveground live | 地下活体 Underground dead | 枯落物 Litter | 资料来源 Data source |
|--|--------------------------|--------------------------|---------------|--|
| 落叶松人工林 <i>Larix gmelinii</i> plantation | 2133499.20* | 568500.80 | 368170.00 | 刘世荣等,1992 ⁽²⁾ Liu Shirong et al |
| 羊草草甸草原 <i>Aneurolepidium</i> <i>chinense</i> meadow steppe | 44394.10 | 347965.20 | 10069.60 | 祖元刚等,1987 ⁽²⁾ Zu Yuangang et al, |
| 小叶章草甸 <i>Calamagrostis</i> <i>angustifolia</i> meadow | 156671.39 | 434324.79 | 32944.04 | 笔者测定 The author |

* ,能量现存量(Caloric content); # ,分配比(Proportion of allocation)

小叶章草地能量现存量的器官分配比例不是一成不变的,是随着生长发育时期的不同而发生变化的(详见表 5)。

从表 5 可以看出,叶和茎的季节动态规律相似,皆为生长季初期及末期分配比低(能量现存量小)而中期分配比高的变化过程。根(包括上部根和下部根)的季节变程则与其相反,呈生长季初期与末期高,中期低的趋势。根颈和根茎居于中间位置,整个生长季内变化不大。除上述 3 种季节变化类型外,穗中能量现存量的变化独具特色。6 月下旬始见穗,由于抽穗率较低,分布又不均匀,致使季节动态规律不甚明显。

能量现存量的器官分配之季节动态规律与种群分配的季节动态规律一样,均深受相应的生物量季节动态规律的影响。

表 5 小叶章草地能量现存量器官分配的季节动态(1989, 宝清)

Table 5 The seasonal dynamics of caloric content proportion in different organs of *Calamagrostis angustifolia* grasslands (Baoqing, 1989)

| 日期 Date | 穗 Spike | 叶 Leaf | 茎 Stem | 根颈 Root crown | 根茎 Rhizome | 上部根 Upper root | 下部根 Lower root | 总计 Total |
|------------|------------|-----------|-----------|------------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------|
| 4月20日 | 0.00* | 450.91 | 263.87 | 2811.67 | 2983.52 | 47306.39 | 5955.18 | 59771.54 |
| | 0.00# | 0.75 | 0.44 | 4.70 | 4.99 | 79.15 | 9.96 | 100.00 |
| 5月17日 | 0.00 | 538.28 | 1327.47 | 2091.42 | 1844.31 | 39534.33 | 2811.05 | 48146.86 |
| | 0.00 | 1.12 | 2.76 | 4.34 | 3.83 | 83.11 | 5.84 | 100.00 |
| 5月27日 | 0.00 | 1635.41 | 2532.19 | 2471.29 | 2444.77 | 32211.99 | 3035.61 | 43331.26 |
| | 0.00 | 3.77 | 5.84 | 5.70 | 5.64 | 74.34 | 4.70 | 100.00 |
| 6月24日 | 7.23 | 3547.37 | 6943.66 | 2663.02 | 2245.29 | 28509.26 | 1545.21 | 45461.04 |
| | 0.02 | 7.80 | 15.27 | 5.86 | 4.94 | 62.71 | 3.40 | 100.00 |
| 7月6日 | 86.39 | 4531.48 | 8219.62 | 4158.34 | 2235.31 | 38998.51 | 1854.37 | 60084.02 |
| | 0.14 | 7.54 | 13.68 | 6.92 | 3.72 | 64.91 | 3.09 | 100.00 |
| 8月1日 | 16.49 | 4062.59 | 11586.02 | 3837.54 | 3005.44 | 34237.65 | 2316.15 | 59097.87 |
| | 0.03 | 6.51 | 18.57 | 6.21 | 4.82 | 54.87 | 3.71 | 100.00 |
| 8月14日 | 43.57 | 4253.25 | 8465.46 | 4335.89 | 2882.04 | 38808.66 | 5630.77 | 64419.64 |
| | 0.07 | 6.60 | 13.14 | 6.73 | 4.47 | 60.24 | 8.74 | 100.00 |
| 8月23日 | 103.82 | 2704.21 | 8924.12 | 2783.37 | 3343.33 | 40850.73 | 5533.44 | 64198.02 |
| | 0.16 | 4.21 | 13.90 | 4.34 | 5.21 | 63.56 | 8.62 | 100.00 |
| 9月16日 | 13.16 | 1277.54 | 4344.57 | 4289.67 | 2998.77 | 44945.01 | 7203.29 | 66072.01 |
| | 0.02 | 1.93 | 8.09 | 6.49 | 4.54 | 68.02 | 10.90 | 100.00 |

* , 能量现存量(caloric content, kJ/m²); # , 分配比(proportion of allocation, %)

表 6 小叶章草地能量现存量的垂直分布结构(1989 06 28 宝清)

Table 6 The vertical structure of caloric content in *Calamagrostis angustifolia* grasslands (Baoqing, 28, 1989 06 28)

| 高度 Height (cm) | 能量 Caloric content (kJ/m ²) | 分配比 Ratio (%) | 高度 Height (cm) | 能量 Caloric content (kJ/m ²) | 分配比 Ratio (%) |
|----------------------|---|------------------|----------------------|---|------------------|
| 120—111 | 17.60 | 0.03 | 0—10 | 28821.10 | 43.35 |
| 110—101 | 177.85 | 0.27 | —11—20 | 15274.42 | 22.97 |
| 100—91 | 602.05 | 0.91 | —21—30 | 1589.62 | 2.39 |
| 90—81 | 1213.57 | 1.83 | —31—40 | 483.87 | 0.73 |
| 80—71 | 1826.50 | 2.75 | —41—50 | 331.71 | 0.50 |
| 70—61 | 1962.94 | 2.95 | —51—60 | 138.27 | 0.21 |
| 60—51 | 1853.03 | 2.79 | —61—70 | 69.07 | 0.10 |
| 50—41 | 2165.44 | 3.26 | —71—80 | 55.31 | 0.09 |
| 40—31 | 2372.66 | 3.57 | —81—90 | 27.65 | 0.04 |
| 30—21 | 2511.66 | 3.78 | —91—100 | 6.95 | 0.01 |
| 20—11 | 2527.88 | 3.80 | | | |
| 10—0 | 2456.31 | 3.70 | 总计 Total | 66485.45 | 100.00 |

2.2.3 垂直分配及其季节变化 小叶章草地现存量在空间上的垂直分布情况如表 6 所示。能量的集中分布层为 0—20cm 土层。该层中分布了草地总能量的 66.32%。由该层向下,则生物量中的能量现存量急剧减少,地下 21—100cm 土层中仅分布有群落总能量现存量的 4.06%,为 0—20cm 土层能量现存量的 6.12%。地面以上群落能量现存量的分布与地下不同,呈由下至上逐渐减少的趋势,达 80cm 高后,削减幅度才明显增大。总体看,群落能量现存量主要分布

于地面以下,为总能量现存量的 70.38%,地上部分仅为 29.62%。林地的情形与此正好相反,地上部能量现存量远大于地下部。以人工落叶松林为例,其地上部能量现存量占群落总能量的 79.58%,地下部仅占 20.42%^[9]。

小叶章草地能量现存量不仅有垂直分布格局,同时还存在明显的季节动态变化。其变化的基本趋势与生物量的季节变程基本一致(详见图 2 和图 3)。

3 结论

3.1 小叶章草地建群种小叶章及主要伴生种苔草均为高热值含量植物,平均热值含量(地上部分)分别为 17398.24J/g 及 17950.91J/g,去灰分热值分别为 18805.85J/g 及 19333.39J/g。

3.2 小叶章不同器官的热值含量水平存在明显差异,由大到小的顺序为(去灰分热值):穗>根颈>死根>上部根>叶>枯落物>根茎>茎>下部根。不同器官不仅能量含量存在差异,其季节动态变化亦不尽相同。

3.3 小叶章草地生态系统的能量现存量绝大部分均分布于植物亚系统中,小叶章种群又为后者的主体,其最大能量现存量为 16549.05kJ/m²,而苔草仅为 319.25kJ/m²。能量现存量的季节变化明显,最大值出现在 8 月初。

3.4 小叶章草地不同器官(组分)的能量现存量差异较大。仅上部根之能量现存量即占总能量现存量的 54.87%;穗之能量现存量值最小,仅占 0.03%。各器官(组分)能量现存量的大小顺序为:

上部根>茎>叶>根颈>根茎>枯落物>下部根>死根>穗

此外,不同器官(组分)能量现存量还存在明显的季节变化。

3.5 小叶章草地生态系统植物亚系统能量现存量垂直格局为,0—20cm 土层为能量集中分布层,占草地总能量的 66.32%;由此向下至 100cm 土层仅分布有群落总能量的 4.60%,地上部共分布有总能量的 29.62%。

参 考 文 献

- 1 马克平. 小叶章草地生态系统结构与功能的研究. I 能量环境的基本特征. 王祖望主编. 能量生态学——理论、方法与实践. 长春, 吉林科学技术出版社. 1993. 160—170
- 2 马克平等. 三江平原小叶章草地地上生物量季节性模式的研究. 中国草地, 1991, (2): 4—8
- 3 马克平等. 小叶章草甸地下生物量形成规律的研究. 草业科学, 1992, 9(2): 24—28
- 4 杨福国. 青海海北地区矮嵩草草甸生物量和能量的分配. 植物生态学与地植物学丛刊, 1987, 11(2): 106—112
- 5 吴刚等. 黄淮海平原豫北地区农林业系统能量研究. 应用生态学报, 1994, 5(4): 355—359
- 6 杨福国. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1983, 7(4): 280—287
- 7 祖元刚等. 羊草种群的能量流动及其稳定性分析. 植物学报, 1987, 29(1): 95—103
- 8 吴刚等. 果粮间作生态系统功能特征的研究. 植物生态学报, 1994, 18(3): 243—252
- 9 刘世荣等. 落叶松人工林生态系统净初级生产力形成过程中的能量特征. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(3): 209—219

STUDIES ON THE STRUCTURE AND FUNCTION OF
CALAMAGROSTIS ANGUSTIFOLIA GRASSLAND ECOSYSTEM;
IV. ENERGY FIXATION AND ALLOCATION

Ma Keping

(Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100044)

The annual net primary productivity (ANPP) of *Calamagrostis angustifolia* grassland ecosystem is 30579.17kJ/m², of which 37.64% were from the aboveground ANPP and 62.36% from the underground ANPP. The Standing caloric content (SCC) in different organs/Components varies widely. The SCC in upper roots (0—20cm depth in soil) accounts for 54.87% of the total, while SCC in spikes accounts for only 0.03% of the total. The SCCs in other organs/components can be ranked in a decreasing order as follows: Upper roots > stem > leaf > rhizome > litter > lower roots > dead roots > spike. The caloric values without ash in different organs/components also varies widely, and can be ranked in a decreasing order as follows: spike > root crown > dead roots > upper roots > leaf > litter > rhizome > stem > lower roots.

Key words: *Calamagrostis angustifolia* grassland, energy, fixation, allocation.