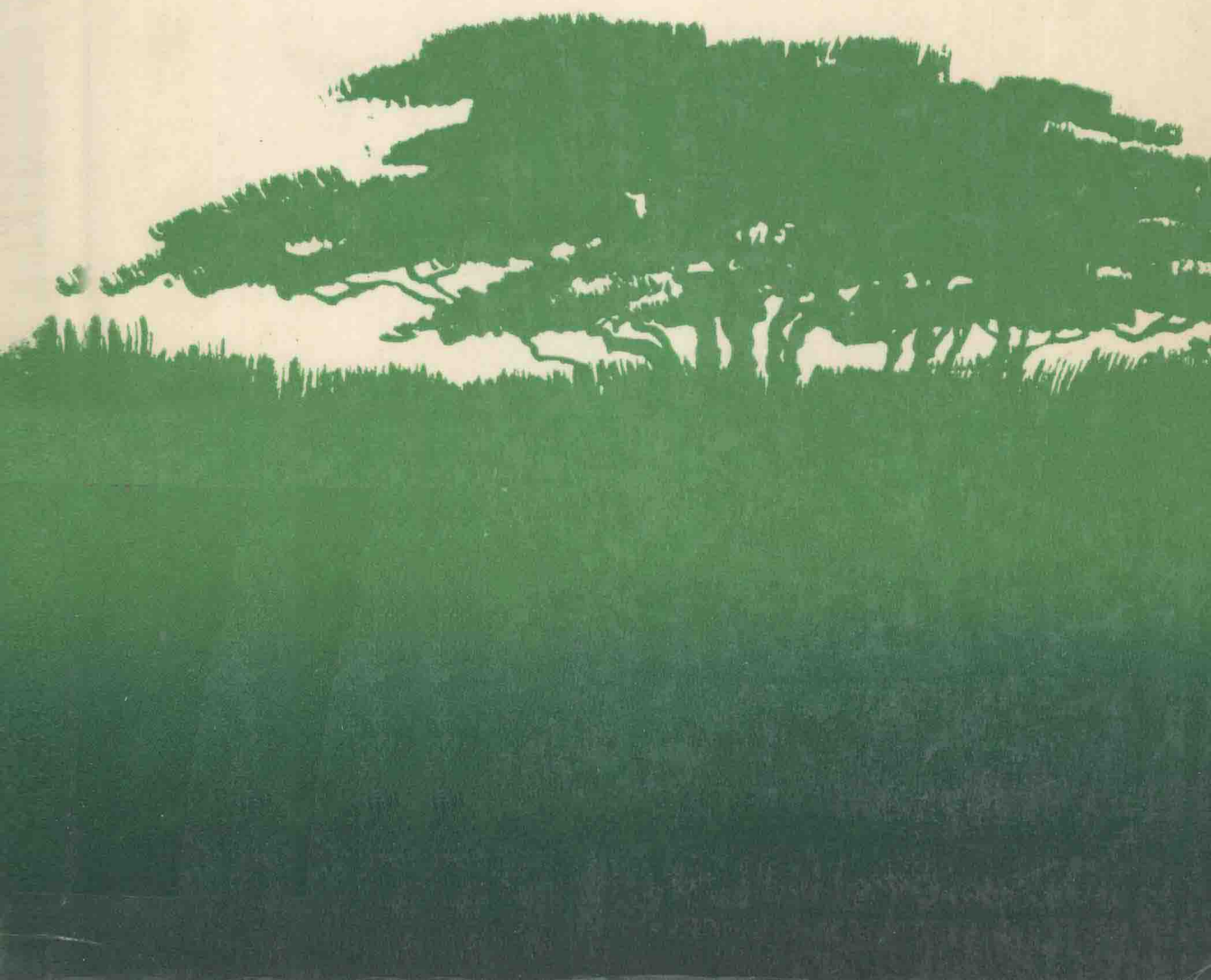
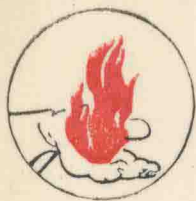


草地火生态学研究进展

周道玮·主编

吉林科学技术出版社



草地火生态学研究进展

周道玮 主编

吉林科学技术出版社

【吉】新登字 03 号

草地火生态学研究进展

周道玮 主编

责任编辑：张瑛琳

封面设计：姜 凡

出版

吉林科学技术出版社

787×1092 毫米 16 开本

25.875 印张

发行

插页 4

650000 字

1995 年 7 月第 1 版

1995 年 7 月第 1 次印刷

印数：1—1000

定价：30.00 元

印刷 长春电业印刷厂

ISBN 7—5384—0943—2/S·160

主 编 周道玮

副主编 张喜军 员旭江

编 委 钟秀丽 马国青 李晓波

李政海 王 炜 张宏一

内 容 提 要

全面系统地论述了草地火成因子,火状况及其生态学意义。详尽地评述了不同火成因子和火状况作用下不同生态系统各组分的行为反应及二者的相互关系。综合了不同地区火管理原则和措施及经济效应分析方法。

不但提供了80年代中末期草地火生态学研究现状,也有典型原始论文提供了研究方法,同时,兼顾了研究历史,并概论了火生态学和应用火生态学。

前 言

火是燃烧产生的一种现象，燃烧是一种发光生热的快速化学反应。习惯上将火做为燃烧的代名词，并有时称火烧。火有许多种，火生态学研究的对象是指发生在生态系统中有生态意义的火烧，一般称野地火或野火 (wildland fire, wild fire)，究其原因可分为由于闪电雷击、火山爆发、滚石、摩擦、自燃等产生的自燃火，也包括某些人为原因造成的人为火。

历史文献和现代研究及现代人的经历与植物及植被的某些遗留特征都能证明自然植被经常着火，特别是在某些易于着火的地区。生态系统无所不包，上至大气圈，下至岩石圈，自然地可以认为火是生态系统的—个组成部分，对植被或生态系统有或多或少的影响。

火生态学 (fire ecology) 是研究自然火发生规律和火对生态系统各组分影响的科学 (Komarek, 1971)，应用火生态学 (applied fire ecology) 的主要研究内容是计划火烧理论和技巧 (Wright 和 Bailey, 1982)，草地火生态学 (fire ecology of grassland) 的研究对象是草本植物群落占优势的生态系统。

自从地球气候形成，火一直是自然生态系统的一部分，闪电总能提供自然火源，且对各地并无偏向，当然，在某些地区可能更多一些 (Komarek, 1966)。闪电点燃潜力决定于可燃物源，可燃物数量和可燃物连续性，可燃物温度及当时的气象条件。在地形平坦或起伏的地区，如果温度高，风速大，相对湿度低，可燃物连续，干雷暴极易引起大火。历史上，各种可燃物和气象条件下，发生过各种强度的火，导致有不同的植被反应。

对大多数生态系统而言，火是使这些系统稳定的多样性的自然催化剂 (Vogl, 1971b)。没有火，森林群落变得单调，大量枯落物积累，产量降低，病虫害流行 (Vogl, 1971a)，同样，草地变得发育迟缓，乔灌木侵入，而灌木林则变得退化，成为不适口的密丛 (Wright, 1974)。除灌丛化草地外，如果没有火，大多数情况下，野生动物的数量和多样性下降。可能仅年降水少于 170mm 的荒漠地区，火才不产生影响，因那些生态系统缺少细小可燃物。

人类保持并利用火的历史已多于 50 万年，但 2 万年以前才学会使用 (Johnston, 1970)。人类的用火，加之闪电火，加强了火对许多生态系统的影响，特别是对草地和草地边缘群落，长年居住的地方尤其如此，因草地容易种植作物，新近的火烧地也容易捕获猎物，草地边缘被烧死的木材，成了冬季重要的烧柴。

人类到达后的某些地区，闪电火和有目的的用火和无意火，仍继续对生态系统产生重要影响。由于火可以杀死树木，损伤家产，因此，各地区野火政策均始于防火，且人类对火有一种自然恐惧。但是，在生态系统与火相伴随而发展的草地等生态系统中，排除自然火是不可能的，也是不正确的。防火导致大量枯落物积累，使幼树发育迟缓，下层密集 (这能引起灾

难性森分更新火), 草地和疏林退化, 乔灌木侵入(我国内蒙古红花尔基附近是明显的例证), 树木单调导致病虫增加, 减少野生动物种类和数量及多样性, 最终导致人力不可控制的大火。

火是大多数群落的自然力, 因此, 应允许其尽可能地发挥自然作用。在自然火不可能再发生的地方, 为了获得管理目的, 如减少可燃物, 整理种床, 控制病虫, 疏伐, 控制灌木, 清理枯落物, 增加草本植物产量, 提高牧草利用率, 增加野生动物和复壮草地等, 应用火生态学(applied fire ecology)应起更大的作用。历史上, 火创造生物多样性, 而生物多样性刺激了上述目标。

自60年代, 各领域的生物学家开始对火提出建设性意见, 某些地区开始小规模将火再引入(reintroduction)到生态系统。由于其它可选择工具(机械的、化学的)的成本和环境问题, 使火迅速在一定范围内得到使用。现在, 某些地区在管理植被时已尽可能让火起到更大的自然作用, 火可以恢复原有的自然条件。70—80年代的研究, 已为用火做为管理工具更新自然资源提供了基础。

森林用火比草地和灌丛用火进展的慢, 这是自然的事, 因为管理机构不相信用火的效益能超过风险。但随时间进程, 防火的风险更大(Dodge, 1972), 因为长时间防火最终导致人力不可控的大火。投入巨资防火, 不如投入中资开展计划用火。

计划火烧是再引入火到生态系统中的合理方法, 如果执行者有经验且认真小心, 完全可安全进行, 经验是最好的教师, 开展计划火烧一定要有经验。计划火烧是多功能的工具, 可以同时获得多项管理目标(Wright, 1974), 为了获得某些特殊管理目标, 计划火烧是自然而常用的工具, 也是最经济的选择。

用火建议者多提火的益处, 而忽略了火的不益之处, 合理的方法是全面评论, 研究表明, 益处是肯定的, 关键是怎样获得这些益处, 而避免不益之处, 如土壤湿润时火烧, 可提高产量, 相反, 将降低产量。火烧的缺点也显见, 如毁坏森林, 杀死一些野生动物, 破坏集水区和家园等。

用火时, 每个人的心中要牢记用火安全, 不要超出预先的计划。为此, 获得计划火烧的资料尤为重要, 包括火影响。在美国堪萨斯, 计划火烧如同我国农村种地一样, 由上一代教给下一代, 而无需计划数据。火后管理对于获得计划火烧目标有重要意义。

火生态学和应用火生态学思想源远流长, 我国古籍中就有许多关于火影响和应用的记载(穆祥桐, 1986), 但做为科学研究的历史并不长, 虽然有人认为火烧对北美植被生态影响的研究已有250年的历史(Garren, 1943), 事实上, 早期的那些游记和探险经历, 还不能称做科学研究。

Hensel(1923)第一次通过访问牧人和老人总结了火烧对草原植被的影响, 并做了实际科学研究。Long(1899)和Andrews(1907)对森林火影响进行了调查记录。1917年, 美国耶鲁大学(Yale univ.)林学院在Uraniala的长叶松(Pinus palustris)林区设置样地, 开始研究火烧对森林的影响, 1925—1932年, 美国第一个专业林学家Chapman总结了火烧对长叶松的影响及长叶松林存在的条件。Clements(1916)全面研究了小干松火历史及其作用, 并在此

基础上提出了群落演替理论。Garren (1943) 综述了火对美国东南部植被的影响, 并使用火烧演替 (fire succession), 火偏途顶极 (fire sub-climax) 等概念, 同时讨论了北美东南植被无火演替 (fire-relief succession) 方向。Daubenmire (1947) 第一次将火做为生态因子进行了论述, 并将火因子列到了生态学教科书上 (Daubenmire, 1968; Gill, 1975), 做为七大类环境因子之一。Ahlgren (1960) 等广泛全面地论述了森林火的生态作用。Cooper (1959) 一般性地讨论了火生态学并使用“火的生态学”术语 (ecology of fire)。Daubenmire (1968) 综述了草地火生态学 (grassland ecology of fire) 的研究历史与现状。Kozlowski 等 (1974) 编辑出版了《火与生态系统》一书, Vogl 在书中进一步全面论述了草地火的生态学意义, Kucerra (1981) 再一次讨论了草地与火的相互关系, Wright 和 Bailey (1982) 出版了《Fire ecology—United States and Canada》专著, 标志着火生态学成为一门独立的生态学分支科学。Chandler 等 (1983) 出版了《Fire in Forestry》一书, 其中上卷系统地论述了森林火的特性及森林火对森林生态系统各个亚系统的影响, 下卷为防火和用火理论与实践。Godmar (1990) 全面论述了热带生态系统火 (Fire in Tropical Ecosystem, ecological studies series—92)。

Gill (1975) 综述了火对澳洲植物区系的影响, 同时构造了火生态学理论框架 (theoretical framework), 并认为火状况由火频次, 季节—时间, 强度等要素组成, 强调植物与群落的适应性是对一组火状况, 而不是一次独立的火烧, 1981年, 他又组织编辑出版了《Fire and Australia Biota》, 奠定形成了澳洲火生态学研究特点, 而有别于北美。Phillips 等 (1972) 全面论述了火对非洲植被的影响研究, 事实上, 许多火生态学结论来源于非洲的资料。

从上面的回顾可以看出, 火生态学研究始于本世纪初, 即生态学发展的早期阶段, 成熟于本世纪 80 年代。Agee (1992, 通信) 将火生态学研究历史分为三个阶段: 1. 1900—1960 年, 认为火是“坏”的, 研究的较少且分散; 2. 1960—1985 年, 对火的认识态度发生转变, 研究成果报告大量增加, 更好地理解火在自然环境中的作用规律; 3. 1985 年以后, 火生态学做为扰动生态学 (disturbance ecology) (Pickett and White, 1985) 的一部分被进行了系统论述, 成熟的火生态学成果和理论为扰动生态学提供了坚实的基础和背景。

我国现代草地火生态学研究始于 50 年代末 (邵年, 1957), 但研究成果稀少而不系统, 认识也还存在分歧。

自火生态学萌芽至今近一个世纪以来, 它基本确定形成了如下几个研究方向, 或说它力求解决如下几个问题:

1. 各生态系统的火状况等火发生规律与行为。
2. 火和物种及群落的选择与适应关系。
3. 火对生态系统各组分的影响。
4. 火对生态系统功能 (物质循环与能量流动) 的影响。
5. 火在生态系统中的地位及火对生态系统存在与发展的意义。
6. 如何用火做工具管理生态系统。
7. 火管理经济分析。

火状况是描述生态系统火特点与发生规律的术语,由火强度 (fire intensity),火频次 (fire frequency),火烧季节—时间 (season—time of occurrence),格局 (partten),面积 (size) 等要素组成。不同生态系统具有不同火状况,不同火状况也决定形成了不同生态系统。在研究某一次火烧影响或讨论生态系统由于火烧产生的进化动力而维持存在和发展时,首先要考虑的就是每次火烧的特点—火成因子 (周道玮, 1994) 和此生态系统的火状况。研究火频次的方法有年轮分析法 (Fritts, 1986; Brubaker, 1986; 吴祥定, 1990), 火疤痕法 (Arno 等, 1977, 1980), 树木令级分布与生命表法 (Wagner, 1978; Yarie, 1981; Agee, 1990), 最大积累量法 (周道玮, 1995), 地层炭颗粒法等。其它几项要素研究的较少, 也没产生完善的研究方法, 多为实验室理论模拟。

不同生态系统具有不同的火状况。Heiselman (1981) 将森林火状况分为七种类型。火强度对森林有明显的短期影响 (McArther 等, 1966), 对草原地下部分影响不大, 火频次无论是对草原或森林都有重要影响, 着火的季节—时间对草原有重要影响, 对森林的影响不清楚, 且研究也较困难 (Gill, 1975)。

长期研究已证明火是大多数生态系统中独特的、重要的、正常的自然的环境因子 (Garren, 1943; Ahlgren 等, 1960; Daubenmire, 1960; Daubenmire, 1968; Gill, 1975; Loucks, 1985; Komarek, 1971; Mooney, 1978; Spurr, 1973; Kozlowski 等, 1974), 有如生态系统中的光照, 温度, 能量和水等一样 (Heady, 1975), 自植被存在时起就和植被发生相互作用 (Kucera, 1981)。Gill (1975) 认为火是生态系统第三层次的环境因子。

物种和群落的火适应性和适应特点主要是研究物种的耐火能力和耐火途径。研究方法是火烧后“幸存”体的保护性状及火后物种的反映确定 (Gill, 1975)。Olson (1981) 建立模型论述了火对全球碳平衡的影响。

适应性状是物种在长期发展过程中发展形成的有利于其携带者生存与生殖的携带者状态 (Dobzhansky, 1956)。各种类型的火烧及其选择作用可能发生于植物生长存在的任何阶段, 长期协调进化作用的结果使它们分别产生一定的适应机制。不同生态系统中不同的火烧等扰动机制, 使其中的物种或群落产生具有不同的适应机制。Mutch (1970) 通过实验提出一野火与生态系统选择与适应的理论假说, 被广泛引用, 该假说认为, 如果一物种发展形成了能在周期性火烧中生存的解剖机制 (厚的树皮、茎蘖) 和繁殖机制 (地下鳞茎、根蘖, 具松脂的球果), 那么, 火决定的植物 (fire—dependent plant) 则具有通过自然选择而获得有效增加群落可燃性的特征。Mutch 进一步论述道, 虽然植物群落被燃着具有偶然性和随机性, 但群落的燃烧特性不是随机的, 火决定的植物群落比非火决定的植物群落更易于着火燃烧, 因自然选择促进了植物群落更加可燃的性状发展。Gill (1975) 系统地论述了植物与群落的适应性与适应性状, 并根据植物的生长特性和在火烧后的反映行为对植物进行了分类。

火生态影响研究皆通过“对比法”。即设置火烧或不同季节时间, 不同强度, 不同频次的火烧地, 进行调查或定位观测, 与邻近未烧样地进行比较讨论。由于研究方向不同, 观测记录的内容也不一样 (Knapp, 1985; Taylor, 1973; Kucera, 1962; Janzen, 1966; Went, 1952;

Anderson, 1979; Keeldy, 1977; Wright, 1970; Deban, 1978, Old, 1968)。经过长期监测,即可讨论火烧对系统发展变化,稳定和顶极演替等问题的影响。另外一种方法是调查不同年度产生的火烧迹地,以进行纵向替代比较。

火烧对生态系统影响的研究较广泛,有水文的、土壤的、植被的、小气候的等等。由于各地气候条件不同,每次火烧特点不同,甚至有一些是相反的结果。草原火生态学的研究焦点是火烧对草原的形成与存在的影响(Kucera, 1981),但多数工作限于火烧对种类组成及生产力的影响。Kucera (1981)提出一火对生产力影响的中性理论假设。森林火生态的研究焦点是火烧对森林演替的影响(West, 1981; Spurr等, 1980; Chandler, 1983),重点讨论的内容是火烧杀死树木、移走了枯落物的因果。

计划火烧(prescribed burning)是依据火生态学和经济理论,为满足生态系统需火要求和社会防火要求而进行的人为用火,即是一门科学也是一门艺术,有一套独特的套理论和

技术。
无论火烧有益或有害,即然火烧是环境因子的组成部分,就应该正视它、研究它,掌握其发生发展规律,为我们人类生存服务。一味长期防火实际是等于在逐渐抽去生态系统正常运行的支持者,是在调控生态系统向非平衡方向发展,最终将导致系统衰败。

近几十年来,克里门茨的演替顶极理论受到越来越多的批评,许多研究结果支持“重复扰动(recurring disturbance)概念及理论,特别是火烧做为生态系统结构和功能的基本组成部分的扰动作用(Bormann, 1981)尤被承认。自然扰动理论日臻成熟,火作为自然扰动因素被广泛地研究讨论,自然扰动生态学(ecology of nature disturbance)的理论体系也得到丰富与完善(Mooney等, 1983; Pickett, 1985),为认识生态系统提供了全新的方式,人类在认识自然的过程中也又向前迈了一大步。对此,还需广泛地吸收总结,以解决面临的问题。有鉴于此,我们较为系统地收集整理各专题的研究成果编辑(译)成此书,希望对火生态学和应用火生态学有一全面认识和理解,合理地借鉴现有成果,管理我国的植被和植被火。由于火生态学文献具极强的地域性,因此,合理地选择需要高度透彻的全面掌握和理解,文中的不足之处也只有作为遗憾了,尚请专家和同仁批评指正。

编者

1995年6月

目 录

第一章 草地火的发生与存在规律	(1)
第一节 草地可燃物积累	(1)
第二节 可燃物物理特性	(6)
第三节 可燃物化学与点燃	(8)
第四节 燃烧与火行为	(13)
第五节 火的存在规律	(23)
第六节 火成因子与火状况	(33)
第二章 草地火生态作用	(36)
第一节 草地火温度及其生态作用	(36)
第二节 火烧灰分与去除枯落物的生态作用	(41)
第三节 火烧、割草与放牧和保护的作用异同	(65)
第四节 火烧对土壤、水和大气的影响	(86)
第五节 火烧对野生动物的影响	(103)
第六节 火烧对旅游景观的影响	(122)
第七节 草地植被与火的相互作用	(128)
第八节 草地火的生态学意义	(147)
第九节 北美草地火生态学	(176)
第十节 灌丛—草地火生态作用	(211)
第十一节 火烧对森林—草地转化的作用	(225)
第十二节 中国草地火生态研究文献	(233)
第三章 草地火管理	(235)
第一节 土地管理用火	(235)
第二节 草地管理用火	(246)
第三节 草地火管理计划	(257)
第四节 计划火烧理论与技术	(272)
第五节 野火管理经济分析	(321)
参考文献	(368)

第一章 草地火的发生与存在规律

第一节 草地可燃物积累

本文的草地泛指草本植物占优势的生物群落，包括土壤及其中的有机体、各种动物、物理环境及植物，其中有些地区有或没有木本植物、半灌木、灌木，甚至乔木。这样，本文的草地概念即指地带性草原，又指非地带性草甸及灌丛和林草交界地带等。

1 草原植物的生产

生产：有机体或群落积累有机物的过程。

产量：有机体或群落在一定时期内积累的生物量或能量。

生物量（又称现存量）：某一特定时刻，生态系统某一组分有机体单位面积上的重量。

第一性产量：植物光合作用形成的有机质重量。

第二性产量：异养有机体转化成的有机质重量。

总第一性产量：一定时期内产生的植物有机体总量，包括呼吸作用损失。

净第一性产量：一定时期内一定面积上的有机体重量。

生态学家常关心净第一性产量，防火工作关心地上现存量或生物量，即净第一性产量逐年累积后的结果，也即枯落可燃物。

国际生物学计划（IBP）对生物量，时间和产量三者之间的关系进行了标准化定义（Newbould, 1967; Milner 和 Hughes, 1968）。

$$P_n = B + L + G$$

式中 P_n = 时间 $t_1 - t_2$ 间的净产量

B = 时间 $t_1 - t_2$ 间的生物量变化，即 t_2 时的生物量 B_2 与 t_1 时的生物量 B_1 之差

L = 时间 $t_1 - t_2$ 间死亡和脱落而损失的重量

G = 时间 $t_1 - t_2$ 间放牧、割草等移走的重量

我国北方草原生产过程为春季地温会升后开始返绿生长，随着温度升高，生产速率和生产量逐渐增加，约在八月份达到最高值，而后向地下输送部分营养，并由于气温的下降，产量不再增加，气温进一步降低，植株枯黄，地上部分死亡枯落成为可燃物（图 1.1.1）。

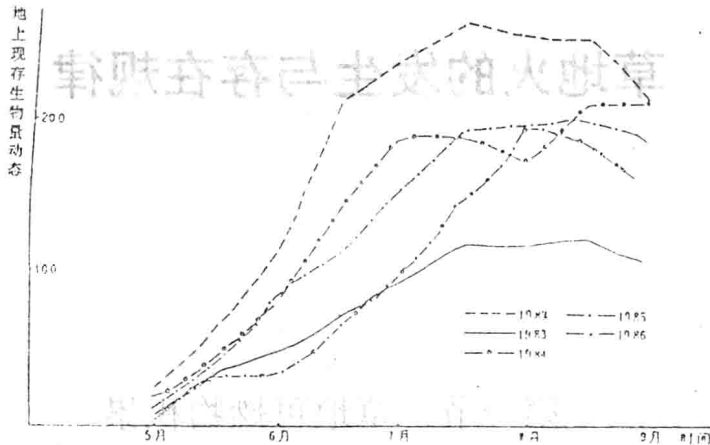


图 1.1.1 羊草草原群落地上生物量季节动态 (刘钟龄等, 1987)

2 草原植物的枯落和分解

草原植物地上部在气候进入寒冷季节或干旱季节后全部立枯或脱落死亡。事实上, 在春季生长开始的 2—3 月内, 植株下部叶片部分开始死亡, 随着时间的推移, 死亡叶片逐渐增多, 而后全部死亡, 形成地上立枯体 (图 1.1.2, 郭继勋, 1992), 即立枯—凋落可燃物。

由于冬季气温低, 当年形成的枯落物在当年的冬季不分解或分解很少, 第二年春季, 在微生物作用和风吹日晒等物理因素作用下, 前一年形成的立枯体开始分解。复杂的有机物转化为简单的化学物质, 释放出营养和能量。每年夏季温度和湿度变化是影响立枯体分解的主要因子, 立枯体分解一般是春秋低, 夏季高 (图 1.1.3, 周道玮, 1993)。

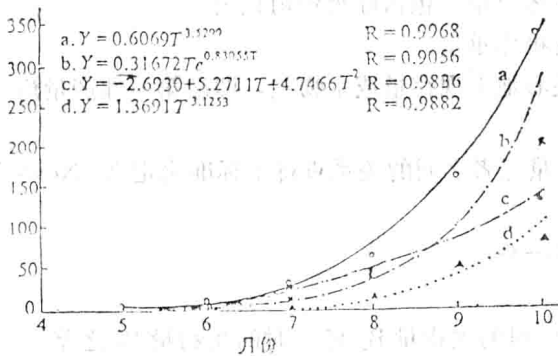


图 1.1.2 羊草草原植物枯死动态

e. 拂子茅—杂类草群落 b. 羊草群落 c. 碱茅群落 d. 碱蓬群落

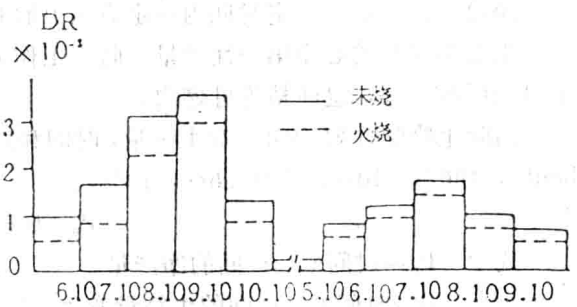


图 1.1.3 火烧地和未烧地羊草枯落物分解动态

前一年的立枯体在次年的一个生长季里一般不能全部分解掉, 转过年来继续分解, 一般要 4—5 年才能全部分解成腐屑。但以后的分解季里, 分解速度降低, 植物各营养成分的分解速度不同, 糖类, 半纤维素、纤维素易于分解, 而各种酚等不易分解 (图 1.1.4)。

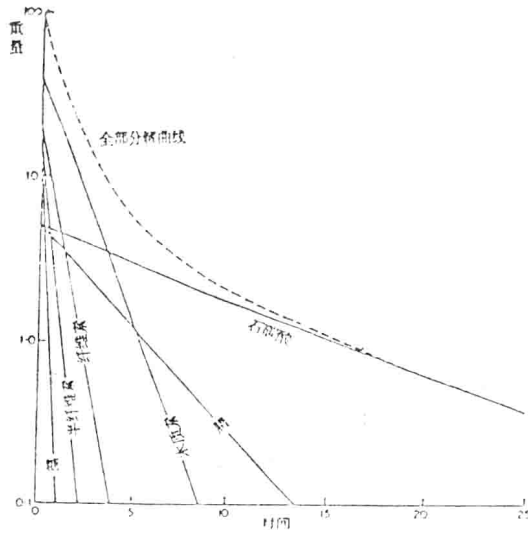


图 1.1.4 各成分分解曲线与总分解曲线

3 草原枯落物的积累

积累是特定生态系统某一组分生产和分解导致的重量变化速率。当生产量大于分解损失量时，这一组分的生物量产生沉积，形成积累量。生态系统中具有生产能力的生产者有三类：植物、动物和微生物。由于后二类生物量极小，且易被很快分解掉，因此不是草原火问题讨论的主要对象。草原植物立枯体形成的枯落物量一般较多，且分解需一段时间，是草原火的燃烧基础。立枯体产量如果在第一个分解季节全部被分解掉，此生态系统积累率为零，形不成积累量。这样的生态系统由于枯落物少，不易着火。另外由于形成枯落物量的气候决定，这一生态系统也不易着火，但草原可能不存在这样的生态系统。中国北方草原生态系统中的植物在一年里形成的产量，需几年后才能分解成不燃的腐屑。如假设每年的枯落物产量相等，且每年的分解速率和各阶段的分解速率相等（即积累率相等），则某一分解年末地上的枯落物积累量为（周道玮，1995）。

$$M = P * \sum_{i=0}^n K^i$$

式中，M=某一分解年末的植落物积累量（g/m²，kg/ha）

P=每年的枯落物产量（g/m²，kg/ha）

K=积累速率（g/g/a，kg/kg/a）

应用此模型，可以计算出自火烧第一个生长季末起，任何分解季末的立枯体积累量，据此可以判断草原枯落可燃物的分布和一旦着火后的火行为。假设某地立枯体年平均产量为200g/m²，年平均分解速率分别为0.4、0.6和0.8g/g/a，即积累速率为0.6、0.4、0.2g/g/a，那么各分解年末枯落物积累量动态如下图（图1.1.5a）。假设年分解速率为0.4g/g/a，即积累速率为0.6g/g/a，枯落物年产量分别为200、300、400g/g/a，那么各分解年末枯落物积累量动态如下图（图1.1.5b）。

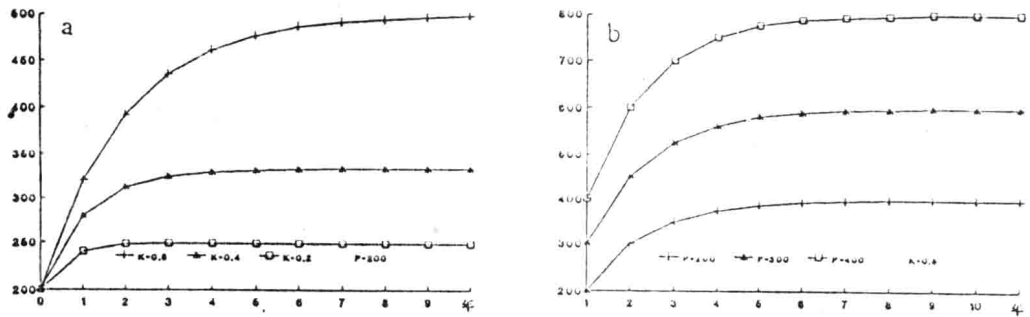


图 1.1.5 枯落物积累量动态曲线

由于各年度气候的波动,以及由于啃食和割草等原因,每年植物立枯体产量有变化,精确计算时可将实测值代入式进行计算。也同样由于气候原因,各年度分解速率参数有变化,并由于各阶段的分解速率差异,使积累速率的确定复杂化,但用一个历年平均值可以近似取代真实值,并做出良好估计。

4 草原枯落物效应

草原植物生产—枯落—分解—积累是一个有机的过程,生产与分解决定积累,积累对生产有反作用,同时积累又是联系土壤等物理环境与有机体的纽带。众所周知,当草原堆上一个草垛时,草原下面不长植物,甚至在草垛移去1—2年以后,垛底下面生长出的植物群落也与周围的不一样,当然这完全决定于草垛堆的时间长短。这一事实表明草原枯落物不能太多,但没有是否最好呢?

研究表明,火烧去除枯落物以后,随枯落物的增加,草原生态系统各组分发生连续变化,但当枯落物积累到一定程度以后,这些指标发生转折性变化(表 1.1.1)。

表 1.1.1 火烧后,随枯落物增加,草原生态系统各组分的变化(周道玮,1992)

枯落物量	8月份产量 (g/m ²)	土壤全 N (g/m ²)	土壤全 P (%)	土壤全 K (%)	土壤有机质 (%)	pH	土壤湿度 (%)	七月日均温 (°C)
0	164.2	0.225	0.163	1.922	4.08	6.74	17.4	26.2
100	161.8	0.231	0.161	1.890	4.98	6.71	17.9	24.4
200	157.7	0.300	0.160	1.923	5.28	6.70	19.2	22.7
300	160.7	0.251	0.161	1.875	5.34	6.72	21.4	22.2
400	147.9	0.298	0.153	1.924	6.82	6.50	22.4	21.8
500	114.3	0.319	0.144	1.925	8.01	6.30	23.1	21.5
550	111.1	0.478	0.318	1.926	6.37	6.00	24.5	21.5
600	100.5	0.397	0.125	1.872	6.05	6.06	24.7	21.4
650	100.1	0.384	0.128	1.792	5.81	6.03	25.6	21.3
700	96.2	0.308	0.144	1.683	5.71	6.10	26.4	21.0
750	90.4	0.222	0.149	1.452	4.90	6.20	26.3	20.8
800	80.1	0.204	0.163	1.365	4.89	6.21	27.1	20.9

5 最佳积累量与火周期

根据上述指标的变化,应用最优化理论,可以找出一个最佳的枯落物积类累量值(图 1.1.6)。枯落物被火烧以后,在生产和分解作用下,枯落物逐渐积累,随着枯落物的逐渐积累,草原生态系统综合指标值逐渐增加,枯落物积累到一定程度以后,综合指标值开始下降,表明此生态系统的综合能力下降。这时,如果有一个外部干扰作用移走植落物,生态系统又将从初始状开始发展。火烧无疑是一重要的干扰因素,生态系统的生产者与气候相适应匹配,在周期性的火调节作用生存发展。如果当年秋或次年春连续发生火烧,那么连续二次火烧后产量将降低 50% (周道玮, 1992) 如果再次发生火烧,此生态系统产量又将大幅度降低,使这一生态系统连续几年内不能发生火烧,几年后,当枯落物再次达到能足以使火连续蔓延时,草原大致可能再次发生火烧。如果生态系统的火周期的确如此,那么这一生态系统发展的太不“经济有效”。

如果生态系统在长期的形成发展过程中,发展出良好的适应火烧性状,即火烧后新长出的枯落物可燃性低,逐渐“老化”的群落可燃性高 (Mucth, 1970), 保证新长出的群落在当年秋季次年春不能燃烧,可使群落火烧周期得以规律性地维持。火周期年上述情况无论哪一种,如果放长时间尺度,进行统计,都会发现二者有严格的周期。只有这样,生态系统才能发展出最高的生态效应和最大的保护功能 (周道玮, 1993)。如果生态系统的自然火源也有周期性发生规律,匹配上周期性积累的可燃物量,则火周期的保证性会更好。

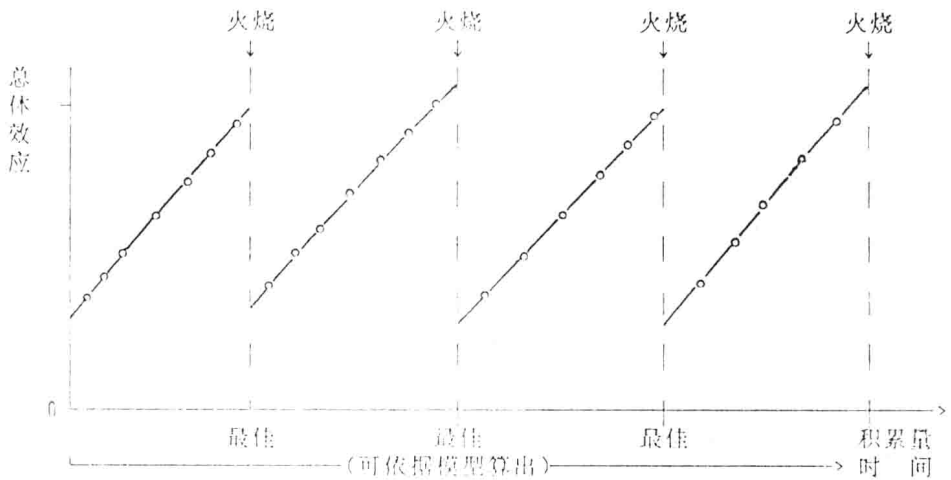


图 1.1.6 最佳积累量与火周期

第二节 可燃物物理特性

1 可燃物分类

根据群落类型或火状况、火行为、火强度、扩展速度进行分类都广为接受，也可用照片进行分类。各火管理区都应对辖区的可燃物进行分类管理，这也是火管理的第一步。中国草原可燃物分类是当前应进行的工作。

2 可燃物湿度

可燃物特性有密度、粗度和表面积/体积比及可燃物湿度。可燃物湿度是影响火行为的最重要因素。

死体可燃物含水率直接受大气湿度和土壤湿度及二者温度影响，属被动吸水体，当其含水率与周围大气湿度平衡时，二者含呈现出一定的关系（图 1.2.1），此平衡点称为湿度平衡含水率（EMC）（Chandler, 1983）。活体可燃物受吸收和蒸腾影响，而影响吸收和蒸腾的因子非常复杂。对于防火工作，重要的是掌握枯死可燃物含水率的日变化和年变化规律（图 1.2.2）。

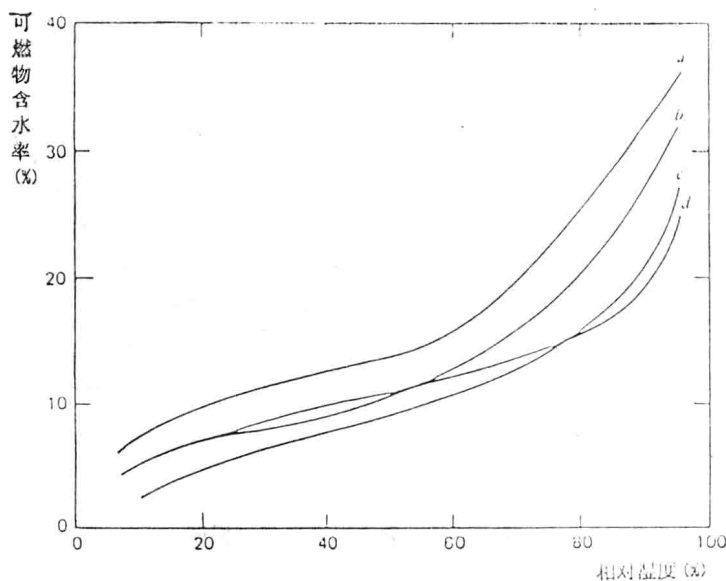


图 1.2.1 常见可燃物的 EMC 曲线

a. *Quercus stellata* 的叶, b. *Aristida stricta* 的匍匐体, c. 木材, d. *Pinus ponderosa* 的叶