

高寒草甸土壤生态系统的结构及 昆虫群落的某些特性*

吴 亚 金翠霞

(中国科学院西北高原生物研究所)

自1881年达尔文报道蚯蚓对土壤的作用以来,人们对土壤动物的研究做了许多工作,Kevan(1955)和Murphy(1962)先后发表了这方面的专著。70年代初,国际生物学规划(IBP)选择了苔原、草原、森林等典型地区,开展了较为系统的土壤动物调查研究工作。随着人类对土地利用和土壤改良的重视,土壤生态系统的研究正趋向于成为一个专门的研究领域。

土壤动物的研究对象,大多属于土壤昆虫,我国草原土壤昆虫的研究,至今仍属薄弱环节,高寒草甸更是如此。为此我们试图从土壤生态系统的角度,研究土壤昆虫群落结构的定性、定量关系,分析它们对土壤物质转化的作用,以便结合其它有关研究,比较全面地阐明土壤生态系统的结构与功能,为科学地管理草原,发展畜牧业提供可靠的依据,

一、门源马场的地理环境

青海省海北藏族自治州门源种马场,海拔 3,200 米,南北分别有属于祁连山系的达坂山和冷龙岭,两山均高达 4,000 米以上,顶峰终年积雪;西南为青海湖;西北地势略有升高,多为 3,500 米以上的高原;属于黄河上游支流的浩门河、大通河等流经马场周围和境内。

气候湿润寒冷。据门源气象站 10 年的记载,年平均气温 0°C , 7 月份平均最高温度 11.4°C , 1 月份平均最低温度 -13.5°C 。通常 9 月上、中旬初雪, 9 月下旬开始积雪, 10 月中旬土壤开始冻结, 翌年 5 月中、下旬才能完全融雪解冻, 积雪和冻土时期长达 7—8 个月之久, 每年 2—3 月冻土深达 1.5 米左右。降雨量在 500—570 毫米之间, 雨量多集中于 7、8、9 三个月, 故该区属于半湿润草甸类型。而我们实际工作地点的温度较上述稍低。

野生植物以莎草科、禾本科植物为主, 在沼泽边缘和山丘附近多水生、湿生植物及灌丛。土壤以栗钙土和高山草甸土为主, 富含有机物, pH 值约在 7.0—8.2 之间, 自 20 厘米向下, pH 值略有上升, 而有机物含量明显减少。

二、工 作 方 法

野外取样调查分别于不同生境或同一生境不同时期进行。每个样方面积 50×50 厘米², 深 20 厘米。每种生境每次取样 5 个, 少数为 3—4 个。取样前先记载每个样方内的植物、根系和土壤状况, 然后挖出土壤逐

* 承中国科学院动物研究所、上海昆虫研究所、南开大学生物系和吉林医大学生物教研组有关同志鉴定标本, 特此致谢。作者现在江苏省农科院植保所工作。

块检查。野外工作进行两年, 合计取样 284 个, 然后再进行大量的分类鉴定, 称重和综合分析工作。

三、结果 和 分 析

1. 土壤昆虫的群落结构及其功能图式

据野外调查, 土壤昆虫共包括 7 个目 27 科 66 属种 (有些只鉴定到科)。此外尚有节肢动物门蛛形纲的真蛛目和蜱螨目、多足纲的唇足亚纲和重足亚纲, 线形动物门的线虫纲, 软体动物门的腹足纲, 以及某些土壤微生物。各目昆虫的大致组成如表 1。其中鞘翅目的属种与

表 1 昆虫纲各目组成及其成、幼虫百分比*

目	科		属 种		个 体		成 虫	幼 虫
	数 目	%	数 目	%	数 目	%	%	%
鞘 翅 目	12	44.44	41	62.12	1,206	64.89	30.87	69.13
双 翅 目	6	22.22	6	9.09	108	5.82	8.33	91.67
鳞 翅 目	1	3.70	9	13.64	117	6.30	0.00	100.00
膜 翅 目	3	11.11	5	7.58	321	17.28	52.34	47.67
半 翅 目	3	11.11	3	3.55	20	1.08	90.00	10.00
革 翅 目	1	3.70	1	1.52	3	0.16	0.00	100.00
弹 尾 目	1	3.70	1	1.52	63	4.47	—	—
合 计	27	—	66	—	1,838	—	32.13	67.87

* 成、幼虫百分比不包括弹尾目昆虫。

个体数皆占总数的 60% 以上。而在全部土壤昆虫中, 幼虫占 67% 以上。这些是土壤昆虫与地上昆虫在群落组成和种群结构方面两个显著区别。

从我们测定草原土壤温度中可见, 土温远较地表温度稳定, 在 30 厘米以下更是如此。大多数昆虫幼期正是活动力和抵抗力较弱的时期, 土壤中相对稳定的温度和营养物, 以及较少遇到敌害等, 是生存的有利条件。可以看到, 这种个体发育中的适应是与各种形态、功能的特化相一致的, 如许多土壤昆虫多具有细长、多节而坚硬的体壁; 或具发达的上颚和前足。象甲幼虫呈 C 形。而体壁较软的弹尾目昆虫则往往在多孔隙的土中。这些都是长期适应土壤生活, 经过自然选择过程形成的。

从栖居和活动习性来看, 可把土壤昆虫及其它无脊椎动物分成两大类群, 一类是如上所述的幼体和弹尾目昆虫等, 较固定地定居在土壤中; 另一类如鞘翅目成虫和蚂蚁、蜘蛛等, 随季节、昼夜和气象突变而在土表和土壤不同深度之间作垂直迁移活动, 其中一些经常栖居在土面枯枝落叶层中。有些学者把最后这一类型统称之为地表昆虫。但这种划分只有相对的意义。

如果按照食性划分, 土壤昆虫包括植食性、肉食性以及腐食、粪食、食屑三大类群。第一类包括象甲科、叶甲科、椿科、蚜科以及部分拟步行虫科、鳞翅目和双翅目的幼虫等。在十八年前弃耕的草甸土壤中, 发现许多切根虫亚科的幼虫, 平均每平方米有虫 9.6 头, 它们对牧草的破坏作用尚未引起人们的重视。第二类包括步甲科、隐翅虫科、蛛形纲 (真蛛目、

蜉蝣目), 某些双翅目幼虫和蚂蚁, 以及蜈蚣等。草原蜘蛛分布面广, 种类繁多, 主要是狼蛛、微蛛、园蛛和平腹蛛等, 对昆虫数量调节有很大作用。据调查, 蜘蛛广泛分布于从沼泽, 草原化草甸直到山顶的所有草甸环境, 其数量与许多植食性昆虫及少数捕食、腐食昆虫的数量紧密联系着。在草原化草甸, 每平方米一般 1 头左右, 最高达 5—8 头。在暖季, 一块土块或石头下, 常可发现 1、2 头蜘蛛及聚集的卵囊, 每个卵囊含卵 25—86 粒。由于蜘蛛一次交尾后能多次产卵, 而且如游猎型的狼蛛科等, 其保护后代的能力甚强, 故其繁殖力一般是很高的。网捕型蜘蛛把网结在草原地面、草根之间以及啮齿类、鸟类的废巢穴口。石块下哺育幼蛛的地方也大多有蛛网和成蛛守护。蛛网多是平网式。据调查, 叶蝉、飞虱、蝇类、蚊类等落入罗网者屡见不鲜。Koponen(1975)在芬兰最北部 (69°45' N, 27°E) 用诱捕法专门研究蜘蛛种群动态, 其中以狼蛛科和平腹蛛科, 数量最多。与我们调查的情况相似。狼蛛科的三种蜘蛛和园网蛛科的一种蜘蛛, 6 月底和 7 月初出现卵囊, 每个卵囊的卵粒数在 24—61 之间。太阳辐射与日照时数同蜘蛛的活动数量是正相关。这与我们的观察也很相似。第三类包括许多双翅目幼虫, 如大蚊科、摇蚊科、尖眼蕈蚊科、蕈蚊科、毛蚊科、瘿蚊科, 以及某些吸血昆虫生活于土壤中的幼虫, 此外尚有粪金龟科、蜉金龟科、拟步甲科的某些种类、弹尾目昆虫、蚯蚓、马陆、以及某些土壤螨类和线虫等等。大蚊幼虫是草原土壤中常见的重要种类。从早春草芽初现到秋末积雪开始, 都可见到其活动。据观察, 大蚊成虫可在 0℃ 的气温下活动和交尾, 每雌可产卵 200 粒左右。每平方米一般有成虫 1—2 头, 最多达 10 头以上, 主要分布于植被茂密的沼泽草甸和较湿润的草原化草甸。其幼虫个体较大, 大多分布于 5 厘米以上的土壤中, 并常爬上地面活动。因此, 不但作为重要的腐食者在物质转化中起重要作用, 而且成为若干食虫鸟类, 如角百灵、云雀、地鸦等的食物来源, 在食物链索中构成一个重要环节。Hofsvang(1975)在北欧肥沃的沼泽草甸研究了大蚊科的生活史和热能代谢, 认为其幼虫是苔原生态系统的分解者, 其成虫和大型幼虫又是食虫鸟类的重要猎物。该科的几个种类具有北极种类的适应特征, 如生活史较长、繁殖率较高等。在苏联北极高原和芬兰, 两种大蚊 (*Tipula excoisa*) 和 (*T. carnifrons*) 一个世代需要 1—2 年或更长的时间, 而 *T. excoisa* 是苔原生态系统的典型代表。显然, 大蚊也是高寒草甸的典型昆虫类群之一。弹尾目昆虫和螨类是以往研究最多的两类土壤昆虫, 两者的比例可作为某些生境特征的指标。我们由于工作条件的限制, 对此未作深入的调查研究。

如从物质和能量的转化着眼, 则可将所有上述土壤动物划分为消耗者和分解者两大类群。在消耗者中, 又可分为一级消耗者(食草者)和次级消耗者(食肉者)。在食肉者中, 尚有取食的各个层次。这两大类群的食物来源, 都直接或间接地来自绿色植物, 都有赖于太阳能, 这是地球上全部生命的能源。因此, 土壤生态系统决不是一个孤立的系统。而是与地上和周围各个生态系统之间不断相互作用, 在其内部和外部不断进行物质和能量交换的系统。正是这种相互作用, 促进了土壤及其栖居动物的发生和发展。一旦这种作用停止, 整个系统将趋向死亡。据上所述, 可用图式表示于下(图 1)。可以说, 人类最根本的经济活动, 在于最大限度地利用太阳能, 协调生产者和分解者的相互作用, 控制过量的消耗者, 从而达到最高的生产力。

2. 群落的多样性和群落之间的相似性

1) 多样性 一个群落的种类组成及各个种类所包含的数量, 不仅在一定程度上反映该

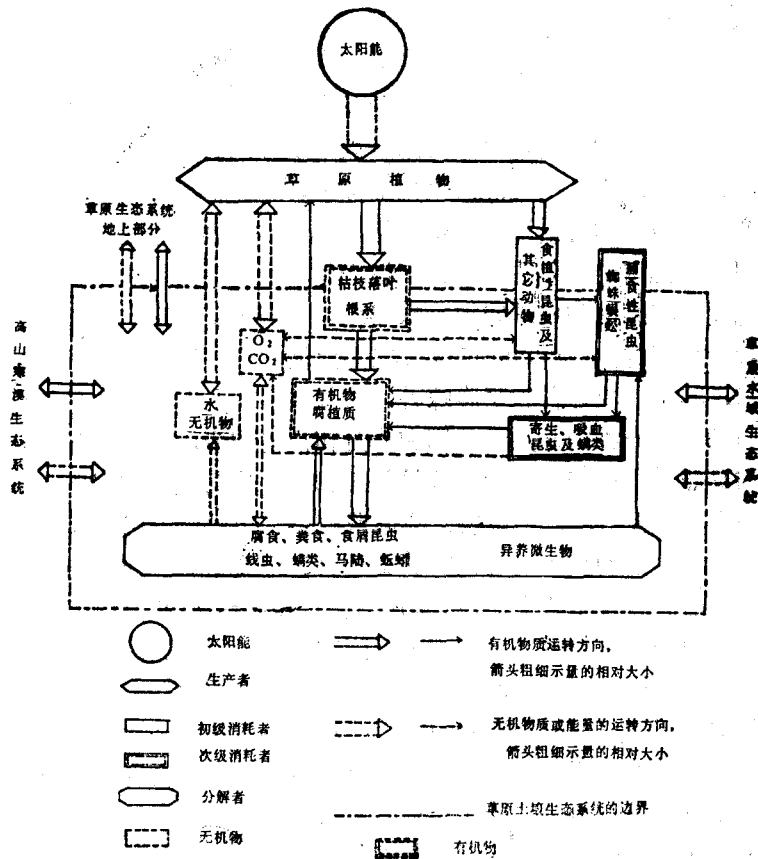


图 1 草原土壤生态系统结构与功能图式

生境的特征，而且体现了群落的发育阶段和稳定性。即当一个群落包含更多的种类，或每个种类的数量比较均匀地分布时，它们就可以组成一个较复杂的食物网，从而使各个种类保持相对平衡的状态，因此，多样性是测定群落组织水平的一个指标。

本文采用 Shannon-Wiener 多样性指数进行测定，其公式为：

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i$$

式中 H' = 多样性指数， s = 所有种类数， p_i = 第 i 种的个体数百分比 ($i = 1, 2, \dots, s$)。计算结果如表 2，依据所得的多样性指数值，最高的是草原化草甸和沼泽草甸，前者种类数最多，后者种类数中等，但无突出的优势类群，因此它们都是相对稳定的，处于群落发育的较高阶

表 2

7 种生境类型的群落组成与多样性指数

	草原化草甸	山坡草甸	山顶草甸	沼泽草甸	下乌兰农田	四牙合农田	河边石块下
多样性指数值	9.28	2.50	2.10	3.12	2.75	1.90	2.62
种类数	50	41	26	29	20	10	28

段; 其次是下乌兰农田, 河边石块下和山坡草甸, 虽然三者的多样性指数值比较接近, 但它们的条件各不相同, 下乌兰农田是小块开垦的农田, 植被和昆虫演替尚未达到顶极群落的程度; 河过石块下是一个不十分稳定的环境, 其多样性也常处于变化不定的状态。向阳的山坡草甸比较温暖干燥, 虽然也有较多种类, 但无论数量或生物量都集中在占优势的鳃角金龟等少数种类, 故多样性指数有所下降, 山顶草甸和四牙合农田相对来说是多样性最低的群落, 前者处于气象因素影响最大的环境, 后者处于人为因素影响最大的环境, 因而是两个最不稳定的群落。

2) 相似性 群落的相似性可表示群落之间的联合程度, 从而也表明了不同生境的相似程度。群落的种类组成是测定相似性的唯一依据, 所以它是一个与群落的多样性完全不同的概念。

关于群落相似性的测定, Jaccard(1902)和Srenson(1948)曾先后提出过测定的公式。但我们认为采用 Mountford(1962) 相似性指数比较合适, 其公式为

$$I = \frac{2c}{2ab - (a+b)c}$$

式中 I 是相似性指数, a 为 A 生境的种类数, b 为 B 生境的种类数, c 为 A 、 B 两生境共同的种类数。根据调查数据, 各个生境间的群落相似性指数如表 3。

表 3 不同生境群落相似性指数之一

	山坡草甸	山顶草甸	沼泽草甸	河边石块下	下乌兰农田	四牙合农田
草原化草甸	0.02740	0.02922	0.02184	0.01639	0.03807	0.02414
山坡草甸		0.03388	0.02862	0.02105	0.02838	0.02335
山顶草甸			0.01777	0.02970	0.02691	0.02128
沼泽草甸				0.01620	0.05405	0.04560
河边石块下					0.01681	0.01961
下乌兰农田						0.09302

其中最高值为 0.09302, 因此下乌兰农田与四牙合农田可归并成一个农田群落, 然后按公式

$$I = (A_1, A_2, \dots, A_m; B_1, B_2, \dots, B_n) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I(A_i B_j)$$

计算得各次相似性指数最高值, 并乘以 1000, 绘制成图 2, 由图可见, 两个农田生境可组成一个农田群落, 山坡、山顶草甸可组成一个亚高山群落, 而沼泽草甸与农田群落再组成一个次级群落, 草原化草甸与亚高山群落也可组成一个草甸亚高山次级群落, 上述两大类统统综合为草甸及其开垦农田三级群落, 它们与河边石块下这种特化生态龛存在较大相异性, 但都是草甸土壤昆虫群落的组成部分, 故归为四级群落。

综观各个群落的多样性和群落之间的相似性, 可见具有较高多样性的群落之间, 不一定具有十分紧密的相似性, 也就是说, 它们分别处于不同的生境状态, 种类成分有较大差异; 而非常相似的两个群落之间并不具有相近的多样性, 也就是说, 在一定的生境、小气候条件下, 虽然种类成分近似, 但都处于不同的群落发育阶段。前一种情况如草原化草甸和沼泽

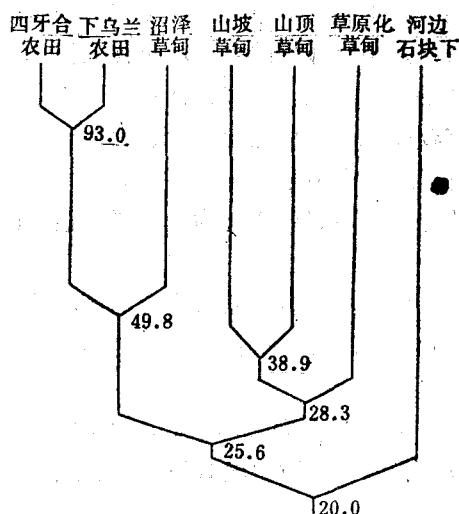


图 2. 群落相似性指数及各级群落

草甸，它们都具有较高的多样性，但在相似性方面却分别与亚高山群落和农田群落接近，后一种情况如下乌兰农田与四牙合农田，它们共同组成了农田群落，但下乌兰是开垦十年左右的新农田，面积较小，与周围的草甸、山麓的昆虫相互渗透较多，故种类成分比较多；四牙合是开垦近二十年的农田，面积较大，与周围草甸、山麓的昆虫互相渗透较少，而农田管理比较频繁，尤以灌水的影响大，因而种类较少，数量较多的只有适于该环境的极少数种类，优势种突出。因此，这两类农田具有显然不同的多样性。

综上所述，可见群落的结构与功能的结构的统一性，两者是互为因果的。土壤是生物赖以生存的基础。如何改善土壤生态系统的结构与功能，是发展农牧业的前题。而其中最重要的是保护土壤中分解者的功能，即保持土壤的肥力和养分的再循环，防止由于不适当的垦植、放牧和农药造成土壤状况的恶化，或者采取适当措施，重新恢复正常的功能。总之，不管我们采取何种措施，都应该把土壤当成一个生态系统来看待，而且它又是与周围各个生态系统相联系的。

参 考 文 献

- Davis, B. N. K. 1963 A study of micro-arthropod communities in mineral soil near corby, Northants. *Journ. Anim. Eco.* Vol. 32(1-3): 49-71
- Debauche, H. R. 1962 The structural analysis of animal communities of the soil. In Murphy P. W. (ed.), *Progress in Soil Zoology*, 10-25
- Duffey, E. 1974 *Grassland ecology and wildlife management*. London, First published
- Kevan, D. K. McE. 1955 *Soil Zoology*. London, Butterworths Scientific Publications
- Mountford, M. D. 1962 An index of similarity and its application to classificatory problems. In Murphy, p. W. (ed.), *Progress in Soil Zoology*, 43-50
- Solhoy, T. 1975 Faunal structure of Hardangervidda Norway. *Fennoscandian Tundra Ecosystem*, Part 2. P. 29-45

STRUCTURE AND DYNAMICS OF SOIL INSECT COMMUNITY IN GRASSLAND I. THE STRUCTURE OF SOIL ECOSYSTEM AND THE CHARACTER OF SOIL INSECT COMMUNITIES

Wu Ya Jin Cuixia

(Northwestern Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

This work is a part of insect community concerning grassland soil ecosystem on the meadow of entire horse in plateau regions in Menyuan, Chinghai. It's altitude is 3,200 metres. The average temperature in a year is about 0°C, so that the climate is cold. The dominant plants in this area are Cyperaceae. and Gramineae. The organic materials in soil are rich. The first part of investigation is reported in this paper.

The soil insects include 7 orders, 27 families, and 66 genera or species. and other invertebrates, containing Araneae and Acarina of Arachnid, Chilopoda and Diplopoda of Myriopode, Nematodes, Gastropoda, as well as microorganisms. In soil insects, more than 67% of the total individuals are living in larval stage.

According to their feeding habit they may be divided into three guilds consisted of herbivores. carnivorus and saprophagoes etc. Three examples of the distribution and habitat in these guilds are described. In view of function, all soil insects may be divided into two groups that is consumers and decomposers. In this paper the scheme of structure and function is drawn with producer-plants.

The diversity and similarity of communities is determined by the numbers of species and individuals. The former is the representation of development stage and stability in community, the latter represents similar degree between communities. Moreover the community associations on several class is built by similarity index.