

207-213

第15卷 第2期
1995年6月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 15, No. 2
Jun., 1995东北羊草草原综合生态因子对微生物
生长的作用——IRM 模型的研究*

张崇邦 杨靖春 管致锦 祖元刚

(东北师范大学, 长春, 130024)

5812

A

摘 要 本文从分解者亚系统水平研究了东北羊草草原土壤中微生物生长的季节变化、多种生态因子的季节变化及环境因子对微生物的综合作用规律。微生物总数、总生物量和总呼吸强度的季节动态呈单峰上凸式曲线变化, 8月份有明显的高峰值出现, 它们分别为: 2689.0×10^4 个/g·干土、 25.41×10^{-3} g/g·干土、 0.8952×10^{-3} gCO₂/g·干土·d。土壤生态因子的季节变化与土壤微生物呈现不同程度的正相关

和负相关。同时利用IRM模型—— $M_t = M_0 [1 + (PRGR \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot \sum_{j=1}^m \frac{W_j}{\eta_j x_j} - RDR) \Delta t]$ 探讨了生态因子对微生物生长的综合作用规律; 生态因子对微生物生长的综合作用指数 r_n 在整个生长季节中为 0.00318—0.1115, 其中7—9月份 r_n 较大, 对微生物生长的限制作用较小, 微生物生长较快, 5、6和10月份 r_n 较小, 对微生物生长限制作用较大, 微生物生长较慢。

关键词: 羊草草原, 微生物生长, IRM 模型, 生态因子

羊草 (*Leymus Chinensis*) 草原是我国松嫩平原的主要地带性植被之一^[1]。其生长得好与坏和土壤微生物的生长活动密切相关。加强对草原土壤微生物生态学的研究对人们综合评价草原生态环境, 认识草原生态系统中物质转化和能量流动的活跃程度是非常重要的。微生物的生长是多维环境因子综合作用的结果, 这种综合作用如何, 就目前的资料来看往往都是停留在定性的描述, 定量的描述尚属少见, 为此, 本文主要研究了羊草草原多维生态因子对微生物生长的综合作用规律, 建立了东北羊草草原微生物生长的综合速率模型——IRM 模型。为探讨提高羊草草原的生产能力和综合治理羊草草原提供理论依据。

1 生境描述和研究方法

吉林省长岭种马场的地理位置: 东经 $120^{\circ}31'$ — $124^{\circ}10'$, 北纬 $44^{\circ}30'$ — $44^{\circ}45'$, 海拔高度为 150—180m。气候属于温带半湿润气候, 冬季严寒少雪, 春季夏初干燥多风, 夏末温暖多雨。年均气温为 4.6 — 6.4°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温为 2545 — 3374°C 。无霜期为 136—163d, 年降雨量为 313—581mm, 多集中于 6、7、8 三个月份, 占全年降雨量的 60% 以上。土壤属于黑钙土, 但由于地下水矿化度较高, 因而具有很强的盐碱土性质^[2]。

本项研究是在 1990—1991 年进行的, 样地设在种马场北甸子上, 共设 5 个样方 (100m^2), 每个样方内设 3 个样点 (1m^2)。从 5 月份开始, 每月取一次土样, 15 个重复, 直至 10 月份为止。

细菌、真菌和放线菌的数量采用稀释平板法测定^[3], 生物量采用干重换算法^[4], 呼吸速率

* 国家自然科学基金资助。

收稿日期 1994 05 17, 修改稿收到日期: 1994 10 16。

采用 Warburg 微量检压技术^[5]。

土壤生态因子均采用常规的化学方法^[6]。

2 结果与分析

2.1 羊草草原土壤微生物的季节动态

由表 1 可以看出, 0—30cm 土壤中的微生物总数、生物量及呼吸强度都有明显的季节变化。在春季返青时, 微生物总数、生物量及呼吸强度都较小, 进入夏季以后, 随着环境条件的变化, 微生物的生长逐渐加快, 代谢逐渐增强, 8 月份达到最高峰, 它们分别为: 2689.0×10^4 个/g 干土、 0.541×10^{-3} g/g · 干土和 0.8952×10^{-3} gCO₂/g · 干土 · d, 进入秋季以后生长和代谢又逐渐减小, 10 月份降到最小。其全年变化进程为单峰上凸式曲线。而锡林河流域草场的土壤微生物季节变化则与之不同, 其高峰值出现在 7 月份^[7,8]。这说明东北羊草草原分解者亚系统有其独特的变化规律。

表 1 羊草草原土壤微生物数量、生物量和呼吸强度的季节变化

Table 1 The seasonal variation of microbial number, biomass and respiration intensity in the grassland soil

微生物指标 Microbial index	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.
微生物总数 ($\times 10^4$ 个/g · 干土) Microbial net number (10^4 individual/g, dry soil)						
	2380.3	2462.5	2544.8	2689.0	2223.8	1309.6
微生物总生物量 ($\times 10^{-4}$ 克/克干土) Microbial net biomass (10^{-4} g/g, dry soil)						
	13.06	17.76	20.31	25.41	17.92	18.89
微生物呼吸 ($\times 10^{-3}$ g/g 干土 · d) Microbial respiration ($\times 10^{-3}$ g/g, dry soil · d)						
	0.6219	0.6901	0.7454	0.8952	0.7262	0.3879

2.2 羊草草原土壤生态因子的季节变化

羊草草原土壤生态因子是导致土壤微生物变化的重要因素, 在表 2 中可以看到土壤含水量、温度、活性有机质、水解氮和速效钾的季节变化规律与土壤微生物的季节变化一致, 高峰值都出现在 8 月份。而有效磷和电导率的季节变化则不同, 全年没有高峰值, 8 月份有低峰值。按国家 1989 年划定的普查标准, 东北羊草草原属于严重缺磷区, 但在有效磷最低的季节, 土壤微生物的生长和代谢却最快, 这与东北羊草草原现有的磷含量对微生物生长不构成制约作用是否有关还有待进一步研究。至于电导率与微生物的关系我们认为是一种反相关关系, 因为羊草草原的含盐量较高, pH 值在 9.0 以上, 对微生物生长不利, 1990 年 8 月份由于降雨量最大, 土壤的淋溶效应增强, 电导率降低, 促使土壤 pH 值下降, 因而有利于微生物的生长。

2.3 羊草草原生态因子对微生物的作用

任何生物的生长都依赖于环境中很多资源的可利用性及许多过程的相互作用, 所以要描

述生态系统中生物的生长,就须把生物实体放到立体环境中去考虑,微生物的生长也不例外。为此本文采用了美国学者 Wushin-i 和 Sharpe 等人于 1991 年最新提出的生物生长的综合速率模型——IRM 模型^[9],以探讨东北羊草草原生态因子对微生物生长的综合作用规律。

表 2 羊草草原土壤生态因子的季节变化

Table 2 The seasonal variation of ecological factors in the grassland soil

生态因子 Ecological factors	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 S. p.	10 月 Oct.
土壤含水量(%) Soil water content	11.4	14.9	18.45	25.6	19.3	10.5
土壤温度(℃) Soil temperature	17.5	19.6	21.7	26.3	22.5	13.2
土壤电导率(dS/m) Soil electric conduct rate	0.31	0.30	0.29	0.27	0.288	0.32
土壤活性有机质(%) Soil active organic matter	1.74	1.78	1.81	1.85	1.79	1.62
土壤水解氮 (mg/100g. dry soil)	9.60	10.3	10.9	12.3	12.18	11.9
土壤有效磷 (Soil effective phosphorus) (mg/100g. dry soil)	1.12	1.09	1.06	0.96	1.06	1.28
土壤速效钾 (mg/100g. dry soil)	15.0	15.7	16.42	18.0	17.8	16.8

2.3.1 IRM 模型的理论 IRM 模型是从生物化学酶动力学方程 $V = V_m \cdot \frac{S}{K+S}$ 开始,结合物理学中的并联电阻 $\frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n}$ 理论和数学中的加权调和平均函数的原理,吸收了早期 IRM 模型^[10,11]因子间相互作用的概念建立起来的。该模型假设如果生态条件最适,某一生物的实际生长速率为其最大生长速率,否则,如果条件未达到最适,其实际生长速率较小;其次任何生物的实际生长速率可以用变化于 0—1 之间的无量纲参数修改的潜在生长速率来描述,0 代表不生长,1 代表最大生长。

2.3.2 IRM 模型的框架 IRM 模型的框架为:

$$M_{t+\Delta t} = M_t [1 + (PRGR \cdot r_n - RDR) \Delta t]$$

其中: M_t ——初始生物生长量, $M_{t+\Delta t}$ —— t 时刻的生物生长量,

$PRGR$ ——生物内禀生长速率

r_n ——无量纲指数,是环境因子综合作用的体现,也称综合作用指数,其展开式为:

$$r_n = \sum_{i=1}^n W_i / \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{\eta_i x_i}, \quad r_n \in [0, 1].$$

W_i ——生态因子的权重值, x_i ——生态因子的可利用性 ($0 < x_i \leq 1$),

η_i ——修改生态因子, RDR ——生物耗竭速率,

Δt ——时间步长。

2.3.3 微生物生长的建模分析 从微生物学角度来看,微生物生长量 M_t 可以用数量和重量两种指标来表示,但由于不同类群的微生物,其各自的菌体形态都有所不同,单纯以数量来描述微生物的生长是不确切的,而生物量则是以菌体的干重来表示,它不受菌体形态的约束,更能确切地表示微生物的实际生长,所以我们以生物量作为微生物生长量 M_t 。

由于土壤微生物在其生长过程中,可以直接利用土壤的水份、有机质、水解氮、有效磷和速效钾,所以上述 5 种生态因子可定义为 IRM 模型中的可利用因子 x_i 。

土壤温度不能直接作用于微生物的生长,而是通过影响其中酶活性影响微生物对有机质的分解来间接地作用于微生物,所以将温度定义为修改利用有机质的修改子 η_r 。同时电导率是土壤总盐量的间接表征,其大小可以影响土壤溶液的渗透压,从而影响微生物对氮、磷、钾及水份的利用,于是将电导率定义为修改微生物利用氮、磷、钾和水份的修改子 η_k 。

微生物在生长过程中,除了建造自身以外,还要通过呼吸消耗其中一部分生长量,于是微生物的呼吸强度定义为 IRM 模型中的 RDR 。

2.3.4 微生物生长的 IRM 模型参数化过程
资源可利用性 $x_i = Res_i / Res_i^{*n}$ ($Res_i^{*n} \geq Res_i$), Res_i ——微生物生长所需的第 i 种资源, Res_i^{*n} ——第 i 种资源的最适值,即微生物生物量最大时所对应的第 i 种资源的实测值。

资源权重 W_i 由下列方程组获得

$$\begin{cases} (2 - 1/x_1^{\frac{1}{2}}) + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 0 \\ 1 + (2 - 1/x_2^{\frac{1}{2}}) + W_1 + W_4 + W_5 = 0 \\ 1 + W_2 + (2 - 1/x_3^{\frac{1}{2}}) + W_4 + W_5 = 0 \\ 1 + W_2 + W_3 + (2 - 1/x_4^{\frac{1}{2}}) + W_5 = 0 \\ 1 + W_2 + W_3 + W_4 + (2 - 1/x_5^{\frac{1}{2}}) = 0 \end{cases}$$

资源的半饱和值 $x_i^{\frac{1}{2}}$ 是微生物生长的实际生长速率是最大生长速率一半的第 i 种资源的值(图 1)。

修改子 η_r 和 η_k ($0 < \eta_r, \eta_k \leq 1$)

η_r 实际上是微生物利用有机质时,各种酶的初步控制,常需要建立一种热函数关系,然后利用曲线斜率来获得,在本文中 η_r 的值是通过计算机模拟筛选获得的,在筛选过程中,认为 0.588 最适合于东北羊草草原微生物生长模型的要求。

η_k 是电导率对微生物利用水、氮、磷、钾资源的一种控制。在东北羊草草原上,由于 E_c 值较高,对微生物生长已构成抑制作用,因此我们将 E_c^{*n} 值定义为与微生物生长量最大时相对应的

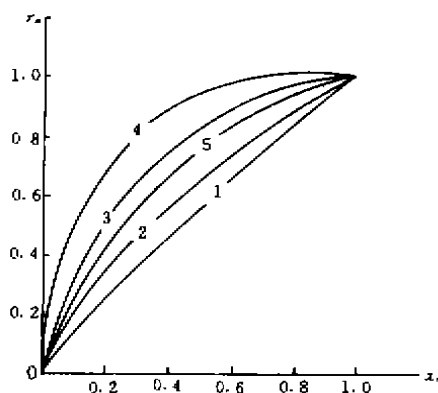


图 1 羊草可利用资源与生长指数的曲线
1—活性有机质 2—速效钾 3—有效磷
4—水解氮 5—含水量

Fig. 1 The resource-multi-factors index curve in the grassland

1—Active organic matter 2—Quick acting potassium
3—Effective phosphorus 4—Hydrolysis nitrogen
5—Water content

E_i 值。为了保持 η_k 的值在 $0 < \eta_k \leq 1$ 的范围内, 根据我们的实测数据(表 2) η_k 应由下式求得

$$\eta_k = E_i^*/E_i \quad (E_i^* < E_i)$$

E_i^* ——电导率最适值(最低实测值)

E_i ——电导率值

耗竭速率 ROR : 由微生物呼吸速率实测值获得(表 1)。内禀生长速率 $PRGR$, 通过实验室连续培养技术, 利用公式 $\frac{dM}{dt} = \frac{\ln M_2 - \ln M_1}{\Delta t}$ 换算而得, 由草原土壤微生物作种源得到的平均生长速率 $0.3-0.5 \text{ g/g} \cdot \text{干土} \cdot \text{d}$, 本文取 $0.3 \text{ g/g} \cdot \text{干土} \cdot \text{d}$ 。

2.3.5 计算机模拟及分析 将 IRM 模型译成计算机(Acer-486 型)程序并对各参数进行模拟计算, 最后得出微生物生长的理论值及综合作用指数(表 3—5)。

表 3 羊草草原不同生态因子的 x_{ij}^1 和 W_i 值

Table 3 x_{ij}^1 and W_i value of the different resources in the grassland

生态因子	活性有机质	含水量	水解氮	有效磷	速效钾
Ecological factors	Active organic matter	Water content	Hydrolysis nitrogen	Effective phosphorus	Quick acting potassium
x_{ij}^1	0.5322	0.7821	0.9292	0.7426	0.6164
W_i	1	1.6003	1.8027	1.5323	1.2566

表 4 羊草草原土壤修改子值

Table 4 The modifier value in the grassland soil

温度	电 导 率					
	Soil electric conduct rate					
Soil temperature	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
	May	June	July	August	September	October
0.588	0.871	0.901	0.931	1	0.937	0.844

表 5 IRM 模型的模拟值及综合指数

Table 5 The simulate value and multi-factors action index of IRM model

模拟值	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
Simulating value	May	June	July	August	September	October
M_r	13.19	17.71	21.32	25.81	17.92	14.72
r_a	0.00318	0.0419	0.0726	0.1115	0.04377	0.0154

根据表 3—5 的数据, 建立东北羊草草原微生物在多维生态因子影响下的 IRM 综合速率模型:

$$M_{t+\Delta t} = M_{t_0} [1 + (0.3 \cdot r_a - RDR) \Delta t]$$

从图 2 可以看出, 利用 IRM 模型模拟的理论值与实测值吻合较好, 这表明用 IRM 模型描述东北羊草草原微生物在多维环境因子综合作用下的生长是切实可行的, 它能较好地反映微生物的实际生长规律。

由表 5 可以看出, 环境因子对微生物的综合作用指数在 $0.00318-0.1115$ 范围内波动, 其中 5、6、10 三个月份的 r_a 值较小, 说明在这 3 个月份环境因子对微生物的生长限制作用较大, 生长较慢。7—9 三个月份 r_a 值较大, 说明这 3 个月份环境因子对微生物生长限制作用较小, 生

长较快,这反映出东北羊草草原生态系统中物质转化和能量流动在7—9月份最活跃,其它月份较弱。因此今后在对羊草草原施行生产和治理措施(施肥、灌溉等)时,一定要抓住7—9月份这段大好时机,加强管理,以提高草原的生产效率和治理效果。

3 结 论

3.1 羊草草原土壤微生物总数、总生物量及其代谢活性有明显的季节变化,8月份达到最大值,其波动范围分别为: 1309.6×10^4 — 2689.0×10^4 个/g·干土、 15.89×10^{-3} — 25.41×10^{-3} g/g·干土、 0.3879×10^{-3} — 0.6219×10^{-3} gCO₂/g·干土·d。

3.2 羊草草原主要生态因子都有明显的季节变化,其中含水量、温度、活性有机质、水解氮和速效钾在8月份有最大值,而有效磷和电导率在8月份有最小值。

3.3 土壤生态因子对微生物的生长具有明显的综合作用,其变化规律为:7—9月限制作用较小,5、6和10月份限制作用较大。

3.4 微生物生长的IRM模型为: $M_{t+\Delta t} = M_t [1 + (0.3 \cdot r_m - RDR) \Delta t]$,该模型能较好地反映微生物的实际生长规律,因而是可行的。

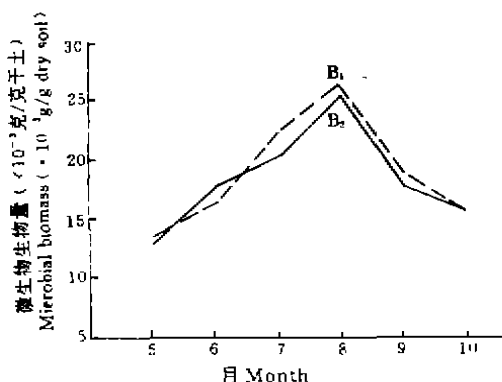


图2 微生物生物量模拟值和实测值

B₁—模拟值 B₂—实测值

Fig. 2 The simulate value and measuring value of microbial biomass in the grassland soil

B₁—simulate value B₂—measuring value

参 考 文 献

- 1 祝廷成, 概论我国东北的主要草原, 东北师大科学集刊, 1958, (1): 98—111
- 2 李建东, 吉林省长岭种马场附近草原的类型、动态及其生态分布规律, 吉林农业科学, 1981, (3): 79—85
- 3 中国科学院土壤研究所微生物室编, 土壤微生物研究法, 北京: 科学出版社, 1985, 44—58
- 4 廖仰南, 草原土壤微生物生物量的测定方法, 草原生态系统研究, 1988, (2): 233—237
- 5 许光辉, 郑洪元, 土壤微生物分析方法手册, 北京: 农业出版社, 1986, 226—233
- 6 中国土壤学会农业专业委员会, 土壤农业化学常规分析方法, 北京: 科学出版社, 1983, 102—166
- 7 张桂枝等, 锡林河流域退化草场土壤微生物生物量的初步研究, 中国草地, 1990, (1): 37—40
- 8 杨靖春等, 东北羊草草原土壤微生物呼吸速率的研究, 生态学报, 1989, 9(2): 139—143
- 9 Wu Shin-ni, Dieter J H Sharpe, Multi-factors growth rate modelling using an integrated rate methodology (IRM), The Journal of Vegetation science, 1991, (2): 1—30
- 10 Dieter Sharpe J H, Wu Shin-ni, A physiologically based continuous time Markov approach to Plant growth modelling in semi-arid woodlands, Ecological Modelling, 1985, (29): 189—213
- 11 Richhardl. Olson Jr, Reternu J H, Sharpe and Hsin-Iwn, Whole-plant Modelling a continuous-time Markov (CTM) approach, Ecological Modelling, 1985, (29): 171—181

STUDY ON THE ACTION OF MULTI-ECOLOGICAL FACTORS ON MICROBIAL GROWTH IN THE *LEYMUS CHINENSIS* GRASSLANDS IN NORTHEAST CHINA AND THE IRM MODEL

Zhang Chongbang Yang Jingchun Guan Zhijin Zhu Yuangang

(Department of Biology, Northeast Normal University, Changchun, 130024)

The patterns of seasonal variations in the growth of microbes, the multi-environmental factors, and the integrated effects of the factors on soil microbes in the *Leymus chinensis* grasslands, were studied on the decomposer microbes subsystem. The number of microbes, the biomass and the respiration intensity were found to vary seasonally by following a relief curve with the peak values occurred in August, which were $2689.0 \times 10^4/\text{g}(\text{dry soil})$, $25.41 \times 10^{-3}\text{g/g}(\text{dry soil})$, and $0.8952 \times 10^3\text{gCO}_2\text{d} \cdot \text{g}(\text{dry soil})$, respectively. The seasonal variations in soil moisture, soil temperature, active organics, hydrolytical nitrogen and quick-acting phosphorus and electrotical conductivity in soil varied in a way contrary to that for microbes, with the minimum values occurred in August. In addition, the integrated effects of environmental factors on microbes were also studied with the IRM model:

$$M_{t+\Delta t} = M_{t1} + (PRGR \cdot \sum_{i=1}^n W_i / \sum_{i=1}^n (W_i / \eta_i \cdot r_i) - ROR) \cdot \Delta t$$

The integrated action index of environmental factors was defined as r_n , which ranged from 0.00318 to 0.1115, with higher values occurred in the period from July to September during which there were more inhibitory effects on microbes, and lower values occurred in May, June and October during which there were less inhibitory effects on microbes.

Key words: *Leymus Chinensis* grassland, microbial growth, IRM model.