

高寒草甸植物的纤维素、根和 枯枝落叶分解作用的研究*

李家藻 朱桂如 杨 涛 唐诗声

(中国科学院西北高原生物研究所)

关于纤维素分解作用的研究,国外早有报道。近10多年来,为了进行生态系统的研究,各国 IBP 定位站均对纤维素、根和枯枝落叶等的分解作用进行了广泛的研究,发表了大量的研究报告、技术报告和综述等 (Coleman, 1973; Lengkeek, et al., 1973; Turner, et al., 1971; Berg, et al., 1975; Goksøyr, 1975; Rosswall, 1975; Svensson, 1975; Flanagan, 1974; Rosswell, 1974.)。1980年作者等在定位站进行了纤维素的分解试验研究,为建立分解者亚系统的数学模型收集必要的参数,1981年除继续进行纤维素分解试验外,又进行了植物根和枯枝落叶分解作用的研究工作。

一、材料和方法

1. 纤维素分解作用

(1) 供试材料: 供试纤维素分解样品为厚度约0.35毫米的层析滤纸。将滤纸剪成8×9厘米,在105℃烘干至恒重后称重,置于36孔/厘米²的尼隆网袋中备用。

(2) 试验处理的设置: 1980年的试验系将干的纤维素样品袋直接埋放于草库伦内10厘米处土壤中。为了解纤维素埋放前的干湿状况对分解作用的影响,1981年设置了纤维素样品湿埋的试验,即先用蒸馏水将纤维素浸湿,然后埋放于草库伦内同样深度的土壤中。1980年纤维素样袋的埋放日期为5月17日。1981年的埋放日期为5月22日。经过一定时间之后,定期收回一定数目的样袋,测纤维素分解率。

2. 根和枯枝落叶的分解作用

(1) 供试材料: 根和枯枝落叶系1980年采自当地优势牧草矮嵩草(*Kobresia humilis*),用前在60℃烘干。为了防止细根从网眼漏失,将根剪成2—3厘米小段,装入网眼为0.3毫米的细孔尼隆网袋中备用。植物枯枝落叶也剪成2—3厘米小段,装入网眼为1.6毫米的尼隆网袋中。每只尼隆袋所装植物根的重量为2克左右,枯枝落叶的重量为1克左右。在装样品前后分别称重,即可得到所装植物根和枯枝落叶的准确重量。

* 程双宁、叶启智二同志参加了试验工作。

(2) 试验处理的设置: 植物根、枯枝落叶的分解作用试验分别设在植被为矮嵩草的天然草场和种植垂穗披碱草的人工草场。1981年5月23日将装有植物根的样品袋埋在10厘米深土壤中; 将装有枯枝落叶的样品袋分别固定平放于土表和埋放在10厘米深土壤中, 每次定期各回收样品袋10只, 分别测定根和枯枝落叶的分解率。

(3) 纤维素、根和枯枝落叶分解率的测定方法, 可参阅李家藻(1982)“海北高寒草甸生态系统定位站纤维素分解和土壤CO₂释放的研究”一文, 不再赘述。

二、结果和讨论

1980年5月17日埋放的纤维素尼龙样品袋分别在1980年7月19日、9月21日、10月23日和翌年5月22日回收。1981年5月22日埋放的纤维素样品袋和5月23日埋

表1 不同试验处理纤维素分解率的季节性动态

Table 1 Seasonal dynamics of decomposition rate of cellulose with different experimental treatments

试验处理 Experimental treatment	纤维素的月平均分解率和10厘米深平均土壤温度 Mean monthly rate of cellulose decomposition and mean soil temperature (depth 10cm)			
干埋的纤维素 Dry buried cellulose	17/V-19/VII	20/VII-21/IX	22/IX-23/X	24/X-22/V
	1980 11.82% 9.40°C	1980 17.17% 11.26°C	1980 3.91% 5.03°C	1980-1981 0.91% -6.30°C
湿埋的纤维素 Wetted buried cellulose	22/V-22/VI	23/VI-25/VII	26/VII-27/VIII	28/VIII-12/X
	1981 21.01% 10.65°C	1981 22.98% 12.85°C	1981 16.40% 13.27°C	1981 24.42% 7.17°C

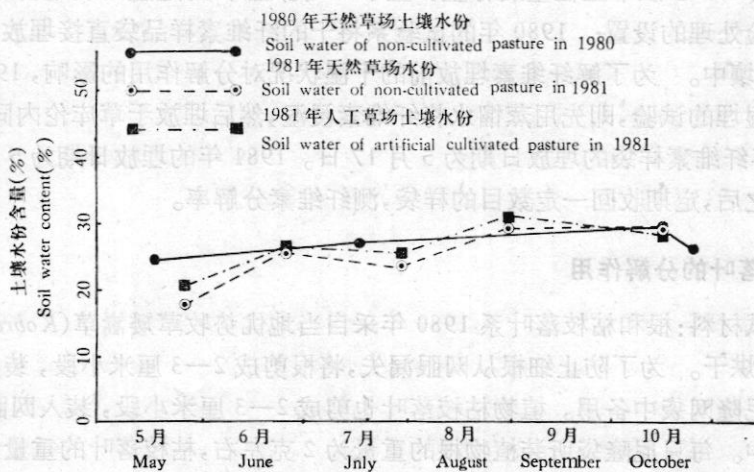


图1 海北生态系统定位站1980—1981年试验期间土壤水分动态

Fig. 1 The dynamics of soil water content (depth 0—10cm) at Haibei Alpine Ecosystem Research Station in the experimental period in 1980—1981.

表 2 不同取样日期的纤维素总分解率

Table 2 Total decomposition rate of cellulose in different sample retrieval date

试验处理 Experimental treatment	不同样品回收日期的纤维素总分解率(%) Total decomposition rate of cellulose (%) at different sample retrieval date			
	干埋的纤维素 Dry buried cellulose	19/VII, 1980 埋放 63 天 63 days buried 23.64 ±5.31	21/IX, 1980 埋放 127 天 127 days buried 59.09 ±29.90	23/X, 1980 埋放 159 天 159 days buried 63.13 ±16.67
湿埋的纤维素 Wetted buried cellulose	22/VI, 1981 埋放 31 天 31 days buried 21.01 ±21.36	25/VII, 1981 埋放 64 天 64 days buried 45.47 ±34.62	27/VIII, 1981 埋放 97 天 97 days buried 62.93 ±35.49	12/X, 1981 埋放 143 天 143 days buried 99.16 ±1.32

表 3 不同试验处理矮蒿草根的分解率

Table 3 Root decomposition rate of *Kobresia humilia* for different experimental treatments

试验处理 Experimental treatment	23/V-25/VI 埋放 33 天 33 days buried	26/VI-25/VII 埋放 63 天 63 days buried	26/VII-27/VIII 埋放 96 天 96 days buried	28/VIII-12/X 埋放 142 天 142 days buried
人工草场 Artificial cultivated pasture	总分解率 (%) Total decomposition rate (%)			
	29.84±3.45	32.48±4.36	35.21±5.30	38.46±7.75
天然草场 Non-cultivated pasture	总分解率 (%) Total decomposition rate (%)			
	29.21±2.23	30.07±3.02	31.70±3.77	42.91±4.63
人工草场 Artificial cultivated pasture	月平均分解率 (%) Mean monthly decomposition rate (%)			
	27.13	2.64	2.48	2.16
天然草场 Non-cultivated pasture	总分解率 (%) Total decomposition rate (%)			
	26.55	0.78	1.48	7.47

放的植物根样品袋以及固定在土表和埋在土中的植物枯枝落叶样品袋均分别在 6 月 25 日、7 月 25 日、8 月 27 日、10 月 12 日回收。测得的纤维素、根和枯枝落叶的分解率分别列于表 1—表 4, 1980—1981 年试验期内的土壤温度(包括土表温度和深 10 厘米的土壤温度)和土壤水分的数据分别见表 5 和图 1。

从表 2、3、4 可以看出,纤维素、根和枯枝落叶在土中和土表的分解率均随放置时间的延长而增加。线性回归分析表明,分解率与放置时间遵循线性函数关系,和 Clark (1970), Lengkeek (1973) 等的结果一致,兹将回归分析结果列于表 6。

表4 暴露于土表和埋在10厘米深土中的矮嵩草枯枝落叶的分解率

Table 4 Litter decomposition rate of *Kobresia humilia* exposed on soil surface and buried in soil depth 10cm

试验处理 Experimental treatment	土壤深度 (厘米) Soil depth (cm)	23/V-25/VI 放置33天 33 days treated	26/VI-25/VII 放置63天 63 days treated	26/VII-27/VIII 放置96天 96 days treated	28/VIII-12/X 放置142天 142 days treated
总分解率(%) Total decomposition rate (%)					
人工草场 Artificial cultivated pasture	土表0	22.37±4.80	30.03±5.50	36.79±6.51	45.86±4.57
	深10	37.12±11.64	46.56±3.67	47.82±7.52	60.13±6.83
天然草场 Non-cultivated pasture	土表0	25.25±6.46	37.54±6.76	43.94±7.36	46.39±11.75
	深10	30.03±4.44	37.02±8.33	51.31±4.42	61.22±4.72
月平均分解率(%) Mean monthly decomposition rate (%)					
人工草场 Artificial cultivated pasture	土表0	20.34	6.96	6.15	5.92
	深10	33.75	8.58	1.15	8.02
天然草场 Non-cultivated pasture	土表0	22.95	11.17	5.82	1.60
	深10	27.30	6.35	13.42	6.46

表5 海北生态系统定位站1980—1981年试验期内的月平均土壤温度(°C)

Table 5 Monthly mean soil temperature (°C) at Haibei Ecosystem Research Station in the experimental period in 1980—1981

试验处理 Experimental treatment	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October
1980年10厘米深土壤温度 Soil temperature in 1980 (soil depth 10cm)	7.00	9.01	12.84	11.67	8.29	2.90
1981年10厘米深土壤温度 Soil temperature in 1981 (soil depth 10cm)	7.44	11.68	13.37	12.89	7.72	2.85
1981年地表温度 Surface soil temperature in 1981	0.65	14.01	17.10	14.67	7.06	1.27

1. 纤维素的分解作用: 从表1看出, 1980年5月17日到1981年5月22日埋放的纤维素的分解作用有明显的季节性动态, 与土壤温度的变化有密切关系。从5月中旬到7月中旬, 以月平均分解率为11.82%的速率进行分解。这段时期的平均土壤温度为9.40°C。分解作用的高峰出现在7月下旬到9月下旬, 月平均分解率达17.17%。这段时期的平均地温也最高, 为11.26°C。9月下旬到10月下旬, 日平均地温降为5.03°C, 月平

表 6 纤维素、根和枯枝落叶的分解率对处理(埋在土中或暴露在土表)天数的直线回归数据

Table 6 Linear regression data of decomposition rate of cellulose, root and litter vs. the days of treatment (buried in soil or exposed on soil surface)

试验处理 Experimental treatment	r	a	b
干埋纤维素 Dry buried cellulose	0.7359	33.3619	0.1140
湿埋纤维素 Wetted buried cellulose	0.9975	-0.2812	0.6857
埋在人工草场土壤中的根 Root buried in soil of artificial cultivated pasture	0.9986	27.4022	0.0790
埋在天然草场土壤中的根 Root buried in soil of non-cultivated pasture	0.9119	23.0819	0.1244
暴露在人工草场土壤表面的枯枝落叶 Litter exposed on the soil surface of artificial cultivated pasture	0.9982	15.9309	0.2136
暴露在天然草场土壤表面的枯枝落叶 Litter exposed on the soil surface of non-cultivated pasture	0.9194	22.7457	0.1860
埋在人工草场土壤中的枯枝落叶 Litter buried in the soil of artificial cultivated pasture	0.9717	31.5069	0.1964
埋在天然草场土壤中的枯枝落叶 Litter buried in the soil of non-cultivated pasture	0.9901	20.0666	0.2973

r = 相关系数 (Coefficient of correlation)

a = 截距 (Intercept) b = 斜率 (Slope)

均分解率降为 3.91%。从 10 月下旬到次年 5 月下旬日平均地温为 -6.3°C ，月平均分解率也随之降到最低，仅为 0.91%。我们以月平均纤维素分解率作为因变数，以 10 厘米深土壤的平均温度作为自变数进行指数曲线回归，证明土壤温度与纤维素分解率密切相关，相关系数 $r = 0.9873$ ，相关指数 $R^2 = 0.9540$ 两者的关系可用如下的数学模型加以表述：

$$\hat{Y} = 2.3259 \cdot e^{0.1653x}$$

但湿埋纤维素的分解作用动态则与前者不同。虽然其分解率显著高于干埋纤维素，但其分解作用动态不适合于指数方程相关系数 $r = 0.6634$ ，相关指数 $R^2 = 0.4539$ 。

从表 2 可以看出，1980 年 5 月在草库伦内 10 厘米深土壤中干埋的纤维素经 159 天其失重率为 $63.13 \pm 16.67\%$ ，到 1981 年 5 月历时一年，其失重率也仅为 $69.56 \pm 8.94\%$ 。但 1981 年 5 月在草库伦内湿埋纤维素的分解率与干埋纤维素相比，埋放的湿滤纸经 143 天几乎已全部分解，失重率达 $99.16 \pm 1.32\%$ 。t 测验表明，两者有极显著的差异 ($P < 0.001$)。

从表 5 看出，1980—1981 年在分解作用试验进行的 5—10 月中的 10 厘米深土壤的月平均温度，1981 年 5—8 月较 1980 年同时期略高，9 月初，1980 年略高于 1981 年。总的看来，两年中 10 厘米深土壤的月平均温度没有大的差异，但 1981 年湿埋纤维素的分解率却明显高于 1980 年干埋纤维素：前者达 99.16%，而后者仅为 63.13% (表 2)。

再从 1980 年和 1981 年的土壤水分动态 (图 1) 来看，1980 年埋样时的土壤水分高于 1981 年。从 5 月中旬开始略渐上升，到 10 月中旬开始下降。1981 年土壤水分到 5 月下

旬才逐渐上升,到6月下旬又略有下降,到7月末升到高值,8月末开始逐渐下降,两年的水分差异不大。

由上述情况可以看出,两年纤维素分解率显著不同,并非由于土壤温度和水分略有差异所致,而是由于供试纤维素样品本身的水分状况所决定的。Berg等(1973)的试验证明,湿埋纤维素的分解率明显地高于干埋纤维素,和我们的试验结果是一致的。

2. 根和枯枝落叶的分解作用:从表3的结果看来,埋在人工草场土壤中的根的分解率稍高于埋在天然草场土壤中的根的分解率,5月下旬到8月下旬三个月的时间里,前者根的月平均分解率为27.13%、2.64%和2.48%,而后者为26.55%、0.78%和1.48%。仅在8月下旬到10月上旬期间,后者根的月平均分解率有所提高。但总的看来,两种草场土壤中根的分解率没有显著差异。枯枝落叶在土表和10厘米土壤中的分解作用动态和根的分解作用动态类似,虽然在回收样品的4段时期内,设置在天然草场和人工草场的样品的月平均分解率相互间有差异,但从10月12日回收样品所测得的埋在土壤或暴露在土表的142天的总分解率来看,两者在统计学上无显著差异。但是,应当指出,埋在10厘米深土壤中的枯枝落叶的分解率都明显地高于暴露在地表的枯枝落叶的分解率。t测验说明,不论是天然草场或人工草场,埋放土中或暴露土表的枯枝落叶的平均分解率的差别均有极为显著的意义(天然草场 $P < 0.01$,人工草场 $P < 0.001$)。

从表3,表4还可以看出,不论是根或枯枝落叶,在所有的试验处理中,第一个月(5月下旬到6月下旬)根的月平均失重率为26.55—29.84%,以后到10月中旬的月平均失重率则显著下降为0.78—7.47%,平均为2.84%,暴露于土表的枯枝落叶,第一个月失重率为20.34%—22.95%,以后到10月中旬的月平均失重率降为1.60%—11.17%,平均为6.27%。埋放在土中的枯枝落叶第一个月的失重率为27.30—33.75%,以后到10月中旬的月平均失重率却为1.15—13.42%,平均为7.33%。以上情况的出现,主要是因为第一个月根和枯枝落叶的易分解成分(如糖,淀粉,蛋白质,氨基酸等)首先迅速分解,因此失重率高,以后剩下的是一些难分解的物质(如木质素,脂肪,丹宁,蜡质等)因此分解速度就慢,失重率大减。这种混杂物质的分解作用与指数方程并不一致,在分解作用的早期阶段,分解率比指数模型的预测值高得很多。由于易分解成分的迅速被分解掉,以后所余者主要是难分解成分,因而后期的分解率又低于指数模型的预测值。(Pinck et al., 1950; Floate, 1970)。

参 考 文 献

李家藻,朱桂如,杨涛,唐诗声,1982,海北高寒草甸生态系统定位站纤维素分解和土壤CO₂释放的研究。高寒草甸生态系统。162—173,甘肃人民出版社。

Berg, B. and T. Rosswall, 1973, Microbiology and decomposition studies. Cellulose decomposition. Progress Report 1971. Swedish IBP Tundra Biome Project Tech. Rep. 14: 134—141.

Berg, B., L. Kärenlampi and A. K. Veum, 1975, Comparison of decomposition rates measured by means of cellulose. In Wielgolaski, F. E. (ed.), Fennoscandian tundra ecosystem. part. 1, Plant and microorganisms. 260—267. Springer-Verlog, Berlin, Heidelberg, New York.

Clark, F. E., 1970, Decomposition of organic materials in grassland soil. U. S. IBP Grassland Biome Tech. Rep. No. 61, Fort Collins, Colorado State Univ.

Coleman, D. C., 1973, Comparative investigations in the U. S. IBP Grassland Biome: decomposition section. U. S. IBP Grassland Biome, Tech. Rep. No. 210, Fortt Collins, Colorado State Univ.

Flanagan, P. W. and A. K. Veum, 1974, Relationship between respiration, weight loss, temperature and moisture in organic residue in tundra. In Holding, A. J. et al. (eds.) Soil organisms and

- decomposition in tundra, 249—278. IBP Tundra Biome, Steering Committee, Stockholm, Sweden.
- Floate, M. J. S., 1970, Decomposition of organic materials from hill soils pastures. II. Comparative studies on the mineralization of carbon, nitrogen and phosphorous from plant materials and sheep faces. *Soil Biol. Biochem.* 2: 173—185.
- Goksoyr, J., 1975, Decomposition, microbiology, and ecosystem analysis In Wielgolaski, F. E. (ed.) Fennoscandian tundra ecosystems. Part 1, Plant and microorganisms. 230—243. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Lengkeek, V. H. and R. M. Pengra, 1973, Carbon dioxide evolution and cellulose, root and litter decomposition in soils at the Cottonwood site, 1972. U. S. IBP Grassland Biome Tech. Rep. No. 233, Fort Collins, Colorado State Univ.
- Rosswell, T., 1974, Cellulose decomposition studies on the tundra. In Wielgolaski, F. E. (ed.), Fennoscandian tundra ecosystem. part 1, Plant and microorganisms. 325—340. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. New York.
- Pinck, L. A., F. E. Allison, and M. S. Sherman, 1950, Maintenance of soil organic matter II. Losses of carbon and nitrogen from young and mature plant materials during decomposition in soil. *Soil Sci.* 69. 391—401.
- Rosswall, A. K., A. K. Veum and L. Kärenlampi, 1975, Plant litter decomposition at fennoscandian tundra sites. In Wielgolaski, F. E. (ed.), Fennoscandian tundra ecosystem. Part 1. Plant and microorganisms. 268—278. Springer-Verlog, Berlin, Heidelberg, New York.
- Svensson, B. H., A. K. Veum and S. Kjolvik, 1975, Carbon losses from tundra soils. In Wielgolaski, F. E. (ed.), Fennoscandian tundra ecosystem. part 1, Plant and microorganisms. 279—286. Springer-Verlog, Berlin, Heidelberg, New York.
- Turner, J. and K. M. Pengra, 1971, Decomposer studies at the Cottonwood site. U. S. IBP Grassland Biome, Tech Rep. No. 126. Fort Collins, Colorado State Univ.

STUDIES ON DECOMPOSITION OF PLANTS OF CELLULOSE ROOT AND LITTER OF THE ALPINE MEADOW

Li Jiazao Zhu Guiru Yang Tao Tang Shisheng

(Northwest Plateau, Institute of Biology Academia Sinica)

Cellulose, litter and root decomposition was studied at Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem in 1980—1981. The experimental results indicated that the seasonal dynamics of mean monthly decomposition rate of dry buried cellulose all over one year was significantly correlated with mean soil temperature ($r = 0.9873$) and followed an exponential model. The decomposition rate of wetted buried cellulose was obviously higher than that of dry buried cellulose ($P < 0.001$), but was less correlated with soil temperature.

The decomposition rates of root and litter of *Kobresia humilis* both in experimental plots of artificial cultivated pasture and non-cultivated pasture have on significantly difference in statistical analysis, but the decomposition rate of litter buried in soil (depth 10 cm) was significantly higher than that exposed on soil surface (for artificial cultivated pasture, $P < 0.001$; for non-cultivated pasture, $P < 0.01$).

The mean monthly decomposition rate of root and litter of *Kobresia humilis* in 1st month (from late May to late June) was the highest (range 20.34—33.75%), and dropped to 2.45—8.81% in successive months from early July to mid October.

The total decomposition rates of cellulose, root and litter were increased in accordance with days of treatment (buried in or exposed on soil) and all followed an linear regression equation.