

农田生态条件下植物残体腐解过程 腐解物的能态变化特征

张春慧 张一平 奚连彬

(西北农业大学土壤农化系, 陕西杨陵, 712100)

5181

A

摘要 用氧弹量热计法研究了农田生态条件下玉米秸秆腐解过程腐解物的能态变化特征, 并探讨了腐解物中不同组分对腐解物能态的影响。结果指出, 在试验条件下, 玉米秸秆腐解过程腐解物能态呈现波动起伏——趋于稳定 2 个阶段, 其中多以吸能、放能交错的方式进行, 但从整体上看是放能过程, 能量活性物质(苯-醇溶性物、水溶性物、纤维素、半纤维素)对腐解前期腐解物能态变化影响较大; 能量非活性物质(木质素、腐殖质等)对维持腐解后期腐解物能态趋于稳定具有重要作用。

关键词: 植物残体, 腐解物, 能态。

农业生态学; 农田生态;

PROCESSES OF PLANT RESIDUES DECAYING IN FIELD ECOSYSTEMS: FEATURES OF ENERGETIC VARIATION OF DECAYING SUBSTANCE

Zhang Chunhui Zhang Yiping Dou Lianbin

(Northwestern Agricultural University, Shanxi Yangling, China, 712100)

Abstract The energetic change of decaying substance in decaying process of corn straw was investigated under the conditions of field ecosystem using oxygen bomb calorimeter method. The influence of different components of decaying substance on its energetic was explored. The results show that the energetic change of decaying substance in decaying process of corn straw brought out such two stages as the fluctuating-rolling stage and the stage, which tending to be stable. The decaying process was, on the whole, a process of energy release, although most of them could alternate between energy absorption and energy release. The "energy active substance" (benzene-alcohol soluble substance, water-soluble substance cellulose and hemicellulose) had a notable influence on energetic in the earlier period of decaying. The "energy non-active substance" (lignin and humic matter etc.) had important function in the process in which the energetic of latter decaying period substance tended to be stable.

Key words: plant residue, decaying substance, energetic.

• 国家教委高校博士点基金课题

收稿日期: 1994 02 07, 修改稿收到日期: 1995 03 18.

土壤是农业生态系统的重要环境因素, 农业生态系统的物质和部分能量的传输及转换都要通过土体进行。贮存了大量物质和能量的植物残体, 作为农业废弃物归还到土壤中进行腐解, 不但有各种物质的循环释放, 而且也有能量的转换, 此过程对生态农业保持较高能源自给率具有重要意义。

植物残体进入土壤, 其腐解过程的生物化学性状变化及对土壤有机质的贡献等研究较多, 而对其腐解过程的能量变化特征研究报道较少。关于植物残体腐解过程腐解物能量变化规律的研究 70 年代以来已引起国内外学者的关注^[1,2]。但目前所得结论不尽相同^[3]。本文在农田生态条件下, 测定玉米秸秆不同腐解期腐解物的等容燃烧热(能态), 采用动态方法, 研究玉米秸秆腐解过程的能态变化特征, 并研究了腐解物中不同物质组分对其能态的影响, 以对本领域的研究作进一步的深入探讨。

1 材料与方·法

本试验利用西北农业大学有机质转化研究定位试验地进行, 土壤系瘠土, 安排本试验时, 定位试验已连续进行了 13 年。小区面积为 19.8 m², 每年小麦-玉米连作。本试验选用定位试验中 3 个施肥处理(表 1), 这 3 个施肥处理在研究植物残体腐解过程能态变化特征上作为 3 次重复。试验小区土壤化学性质见表 2。

表 1 试验小区施肥处理 (kg/hm²)

Table 1 Fertilizer treatment of test plots

处 理 Treatment	厩 肥 Barnyard manure	尿 素 Urea	过磷酸钙 Superphosphate
不施肥 Without fertilizer applied	0	0	0
化 肥 Chemical fertilizer	0	450	525
厩肥+化肥 Barnyard manure+ chemical fertilizer	375.00	450	525

注: 尿素、过磷酸钙为每年小麦、玉米 2 茬作物用量。

腐解物样品的采集及制备: 将玉米秸秆洗净、烘干、粉碎过 1.0 mm 筛, 测定其 C、N 含量, 加入适量尿素溶液, 调节 C/N 为 25/1, 混匀后装入砂滤管^[4](每管 50 g), 于 1990 年 10 月 27 日分别埋入表 1 中的不施肥、化肥、厩肥+化肥小区(每区埋 27 管), 管距地表 10 cm, 覆以土层。每隔 2 个月取样一次, 每次每小区取 3 管, 将其混匀, 风干, 研细, 置红外干燥器中 60℃ 烘干 8 h, 装瓶贮于干燥器中作为腐解物样备用。

表 2 试验小区土壤化学性质

Table 2 Chemical properties of test plot soil

试验小区 Test plot	有机质 O. M. (g/kg)	全 氮 Total N (g/kg)	全 磷 Total P (g/kg)	速效磷 Avaialbe P (mg/kg)	阳离子代换 量 CEC (cmol/kg)
不施肥	13.3	0.93	0.99	4.40	16.76
化 肥	14.5	1.00	1.09	7.06	17.41
厩肥+化肥	18.6	1.14	1.26	11.95	17.85

干燥器中作为去除组分后样品备用。

去除各组分样品的制备: 将各腐解期腐解物样及玉米秸秆原样按植物物质化学组分系统分析法^[5], 依次去除苯-醇溶性物、水溶性物、纤维素半纤维素组分, 并测定各组分(包括去除上述组分后剩余物——木质素类组分)含量。每去除一类组分后取出部分剩余样品, 烘干, 研细, 装瓶贮于

干燥器中作为去除组分后样品备用。
等容燃烧热(Q_v)用 GR-3500 型氧弹量热计测定; 样品全碳用丘林法测定。

2 结果与讨论

2.1 植物残体腐解过程腐解物能态变化的阶段性

用量热计测定燃烧热精确^[6], 所测定的等容燃烧热(Q_v)等于燃烧时物质的内能变化(ΔU), 即 $Q_v = \Delta U$, 因此等容燃烧热是表征物质能态的一种指标^[7,8]。植物的残体随腐解程度的不断加深, 腐解物的组成、性质发生变异, 其能态也必然相应发生变化, 不同腐解时期腐解物的能态(Q_v 值)见表 3 和图 1。

图 1 可见, 整个腐解过程中, 各施肥处理腐解物能态变化趋势是一致的, 呈现曲折波动状态, 但总趋势是降低的。根据腐解物能态变化特征, 可划分为 2 个阶段, 即从原样埋入(1990 10 27)到腐解 8 个月(1991 06 27)为波动起伏阶段; 腐解 8 个月后为趋于稳定阶段。表明试验条件下样品经 8 个月后腐解主要进程已趋完成, 这与植物残体进入土壤一年后分解速度即趋于稳定的结论^[9]基本相符。

表 3 玉米秸秆不同腐解期腐解物能态(J/g 含灰干重)

Table 3 Energetics of decaying substances in various decaying periods for corn straw (J/g dry base containing ashes)

取样时间 Time taking sample out (腐解期) (Decaying periods)	施肥处理 Fertilizer treatment		
	不施肥 Without fertilizer applied	化肥 Chemical fertilizer	厩肥+化肥 Barnyard manure + chemical fertilizer
1990 12 27 (1)	17824	17456	17514
1991 02 27 (2)	16235	14956	15946
1991 04 27 (3)	16782	16457	16553
1991 06 27 (4)	14994	15744	14643
1991 08 27 (5)	15056	14513	14400
1991 10 27 (6)	14956	14020	14521
1991 12 27 (7)	14162	14024	13982
1992 02 27 (8)	14460	13781	14300

注: 秸秆未腐解原样能态(Q_v) = 16172 J/g 含灰干重

Note: The energetics (Q_v) of original sample of undecayed straw was 16172 J/g

2.2 植物残体腐解过程能态变化特征

关于植物残体腐解过程能态变化特征, 看法不尽相同。Gorham^[10]、Ovington^[11]等认为, 腐殖化过程是放能过程, 与大量能量耗损有关; Алнев 等^[2,3]指出, 腐殖质的燃烧热比原始植物样品高, 因而腐殖化过程是吸能过程; Кононова^[3]则提出, 腐殖化过程分两个阶段, 第 1 阶段为原始植物物质的分解——放能过程, 第 2 阶段为腐殖物质的合成——吸能过程。这些不同看法, 表明该问题的本质并未得到充分揭示。

本研究所得结果, 玉米秸秆腐解的前 8 个月, 腐解物能态呈现既有吸能(能量增加)又有放能(能量减少)的波动起伏变化过程, 但若把腐解 8 个月后能态比较稳定的腐解物作为腐殖化物质, 则从原始残体状态到腐殖化物质状态的整体过程是放能过程。因此不能把腐解过程能态变化简单地归结为放能或吸能过程, 也不能机械地划分为先放能后吸能两个阶段, 而是呈现吸能、放能交错变化, 从整体上是放能的一个错综复杂的能态变化过程。此结论进一步证实了作者早期的初步研究结果^[1]。至于能态变化的原因, 与腐解过程腐解物组分变异有关。

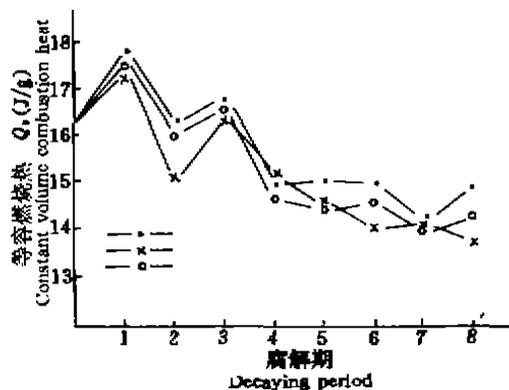


图 1 玉米秸秆不同腐解期腐解物能态变化曲线
 Fig. 1 Changing curve of energetics of decaying substances in various decaying periods for corn straw
 ● 不施肥 Without fertilizer applied;
 × 化肥 Chemical fertilizer;
 ○ 厩肥+化肥 Barnyard manure+chemical fertilizer

2.3 腐解物组分对能态特征影响

不同元素的燃烧系数不同，如碳为 376 J/mol、氢为 144 J/mol、氮为 836 J/mol；不同物质的燃烧热亦不同，如木质素的燃烧热可高达 25080 J/g^[7]。因此腐解物中物质组分的变异必然会导致其能态水平不同。这方面 Gorham 等^[10]曾对不同生态环境下的有机物质进行研究，指出有机物质来源不同，其能态不同。如林地有机质与沼泽地有机质能态是不相同的。

本文为定量揭示这方面的内在联系，应用植物物质化学组分系统分析法探讨了植物残体及腐解物中苯-醇溶性物、水溶性物、纤维素半纤维素及木质素类组分对腐解物能态特征的影响。

2.3.1 腐解过程腐解物组分含量变化特征

玉米秸秆不同腐解期腐解物中各组分含量如表 4。表 4 表明，苯-醇溶性物含量变化的总趋势是下降的，将该组分含量与相应腐解物

表 4 不同腐解期腐解物中各组分含量及全碳含量(含灰干基%)
 Table 4 Content of each component and total carbon in decaying substances of various decaying periods (dry base containing ashes, per cent)

组分 Component	处理 Treatment	腐解期 Decaying periods							
		1	2	3	4	5	6	7	8
苯-醇 溶性物	不施肥	2.84	2.76	2.73	2.57	1.81	1.41	1.05	0.84
	化肥 Chemical fertilizer	2.81	2.72	2.67	2.55	1.89	1.50	1.58	0.97
	厩肥+化肥 Barnyard manure+chemical fertilizer	2.82	2.75	2.64	2.52	1.89	1.40	1.24	1.20
水溶性物	不施肥	28.51	27.72	24.97	24.09	18.22	15.96	11.09	16.90
	化肥	30.34	25.87	27.33	23.22	15.13	13.91	12.60	12.73
	厩肥+化肥	32.74	24.73	25.36	21.95	17.26	17.70	11.83	13.90
纤维素 半纤维素	不施肥	30.31	32.50	24.73	17.25	15.49	13.11	9.79	5.37
	化肥	30.47	32.89	24.95	16.70	11.45	13.70	9.90	7.35
	厩肥+化肥	30.97	33.90	24.78	13.30	13.62	13.70	10.43	3.24
木质素 类物	不施肥	23.83	22.53	32.86	42.35	51.03	55.03	60.47	61.98
	化肥	21.89	23.94	27.94	43.04	54.04	56.40	61.63	64.46
	厩肥+化肥	18.98	24.13	32.76	47.76	46.76	50.84	62.00	67.27
全碳	不施肥	41.00	39.30	38.80	38.40	38.00	36.50	35.50	35.20
	化肥	39.22	38.09	37.15	37.05	36.40	35.33	33.39	33.10
	厩肥+化肥	41.37	38.90	38.00	37.90	37.20	36.10	35.00	34.67
灰分	3个处理混合样 Mixing sample of three treatments	3.94	4.93	6.61	11.83	14.31	18.46	19.72	20.10

注：未腐解秸秆原样；苯-醇溶性物 2.86%，水溶性物 35.65%，纤维素、半纤维素 28.6%，木质素类物 13.20%，全碳 43.76%，灰分 2.56%。

Note: Original sample of undecayed straw; Benzene-Alcohol soluble substance 2.86%, water soluble substance 35.65%, cellulose and hemicellulose 28.60%, substances of lignin kind 13.20%, total carbon 43.76%, ash 2.56%.

能态作相关分析, $r_{\text{化肥}}=0.8705$, $r_{\text{不施肥}}=0.8040$, $r_{\text{厩肥+化肥}}=0.8280$, 均呈显著正相关; 水溶性物的含量变化亦呈下降趋势, 前 10 个月减少较快, 此后趋于稳定, 该组分含量与相应腐解物能态的相关系数, $r_{\text{化肥}}=0.8737$, $r_{\text{不施肥}}=0.7334$, $r_{\text{厩肥+化肥}}=0.8717$, 均呈显著正相关; 纤维素半纤维素含量总变化趋势也是减少的, 但前 4 个月内略有上升, 此后急剧下降, 从第 8 个月开始, 在波动中趋于稳定, 该组分与相应腐解物能态的相关系数, $r_{\text{化肥}}=0.7980$, $r_{\text{不施肥}}=0.8327$, $r_{\text{厩肥+化肥}}=0.8711$ 亦呈显著正相关; 本质素类组分含量变化则相反为增大趋势, 该组分与相应腐解物能态的相关系数, $r_{\text{化肥}}=-0.8513$, $r_{\text{不施肥}}=-0.8409$, $r_{\text{厩肥+化肥}}=-0.8863$, 呈显著负相关。

此外, 由表 4 可见, 随腐解进行, 腐解物中全碳含量减少, 而灰分含量增加, 这与一般结论相同。

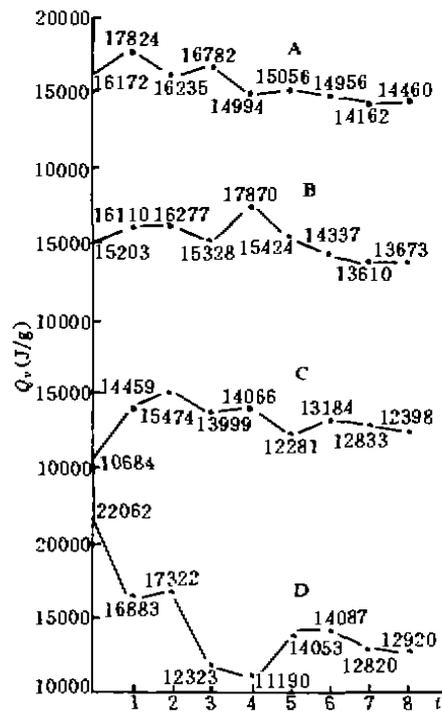


图 2 不施肥处理腐解物去除各组分后样品的 Q_v-t 图

Fig. 2 Q_v-t figure of sample taken each component away from decaying substance for without fertilizer applied treatment

- A 腐解物原样 Original sample of decaying substances;
- B 去苯-醇溶性物(b-a)样 Sample taken away benzene-alcohol soluble substance (b-a);
- C 去(b-a)及水溶性物(W)样 Sample taken away (b-a) and water soluble substance (w);
- D 去(b-a)、W 及纤维素半纤维素样 Sample taken away (b-a), W and cellulose, hemicellulose

2.3.2 腐解物能态变化与组分的关系

前述相关分析表明, 腐解物中各组分对腐解物能态均有显著的、方向不同的影响, 为进一步从数量上探讨各组分对腐解物能态贡献大小, 分别测定了不同腐解期各腐解物去苯-醇溶性物; 去苯-醇溶性物、水溶性物; 去苯-醇溶性物、水溶性物及纤维素半纤维素组分后各样品的热值(图 2.3.4)。

将腐解物样(未去除各组分样)的 Q_v-t 曲线与去除相应组分后样品的各 Q_v-t 曲线比较可见, 腐解物样的波动起伏阶段受有关组分的较大影响, 而趋于稳定阶段, 即腐解后期的各 Q_v-t 曲线部分较类似。表明腐解前期腐解物中富含苯-醇溶性物(脂肪等类物质)、水溶性物(糖类及氨基酸等)、纤维素、半纤维素等物质, 这类物质的数量变化对样品热效应影响较大, 它们的消长与腐解物能态的消长密切相关, 因此这类物质可称为影响腐解物能态变化的“能量活性物质”。腐解后期腐解物主要为木质素、腐殖质等组分, 这类物质聚合度高, 结构较复杂, 其数量变化对样品热效应影响较小, 此类物质可称为影响腐解物能态变化的“能量非活性物质”。试验条件下, 腐解 9—10 个月后“能量活性物质”基本被分解掉, 进入以“能量非活性物质”作为腐解物能态变化主导因素的能态趋于稳定的阶段。

比较 A、B 曲线, 3 种施肥处理从整体看, 去除苯-醇溶性物后, 能态降低。以厩肥+化肥处理为例(下同), 原样(玉米秸秆未腐解样) Q_v 值为 16172 J/g, 去除苯-醇溶性物后 Q_v 变为 15203 J/g, 而以腐解末期比较, 腐解物样 Q_v

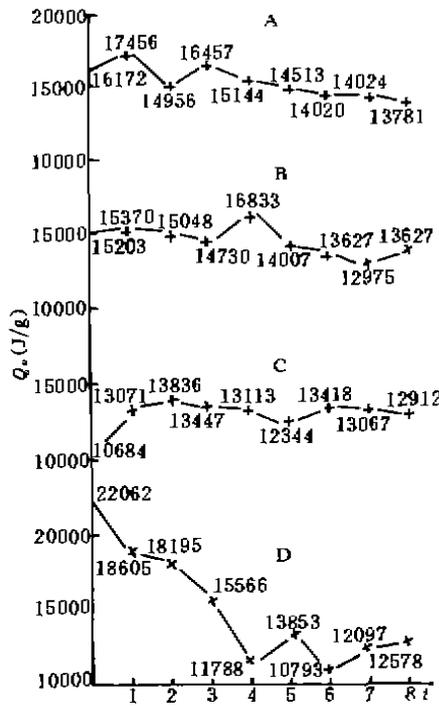


图 3 化肥处理腐解物去除各组分后样品的 Q_c-t 图

Fig. 3 Q_c-t figure of sample taken each component away from decaying substance for chemical fertilizer treatment

图注同图 2 Note same as fig. 2

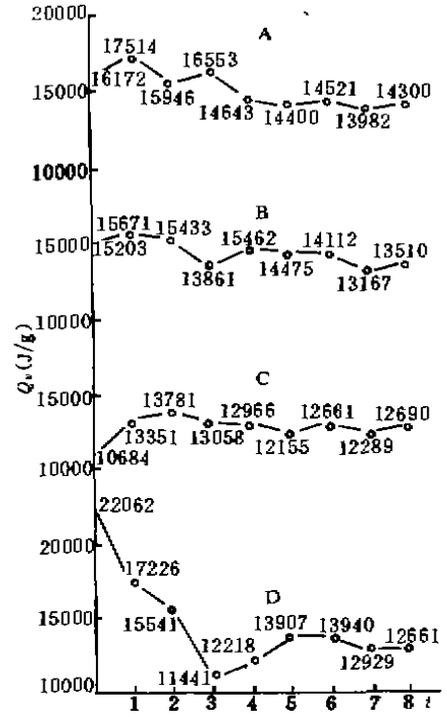


图 4 厩肥+化肥处理腐解物去除各组分后样品的 Q_c-t 图

Fig. 4 Q_c-t figure of sample taken each component away from decaying substance for barnyard manure+chemical fertilizer treatment

图注同图 2 Note same as fig. 2

为 14300 J/g, B 线中则为 13510 J/g, 均有所降低, 尤其是曲线 A 中的 17514、16553 能态峰明显减弱, 甚至下降为谷, 表明苯-醇溶性物对该腐解阶段能态变化具有更大影响。

比较 B、C 曲线, C 曲线中各腐解期腐解物的能态均比 B 曲线中对应点低, 特别是 B 曲线中 15671、15462 两能态峰, 在 C 曲线中变得不明显或消失。此外从 C 曲线本身看, 去除苯-醇溶性物、水溶性物后, 各腐解期腐解物能态相差不大, 整个曲线相对比较平缓。但与原样能态(10684)比较, 显示在腐解前期 8 个月中, 腐解物中的纤维素、半纤维素及木质素类组分在性状上与该原样中的有所不同, 且在维持腐解物具有相对较高能态上起重要作用。

D 曲线显示, 原样以及 1、2 期腐解物样中各组分 Q_c 值存在复杂的交互作用。特别是纤维素、半纤维素与木质素类组分间的 Q_c 值有相互对消趋势。因此去除纤维素、半纤维素后的样品其 Q_c 值大幅度上升, 表明植物残体和腐解物中各组分并非机械混合, 在能量上也非简单加合, 这种交互作用的机制有待进一步研究。此外从曲线 D 可见, 随腐解进行木质素类组分 Q_c 值变化的总趋势是下降的, 最后趋于稳定, 这可能与随腐解进行, 腐解物样品中结构复杂 Q_c 值较低的木质素类组分增多, 相对比例增大并趋于稳定有关。

参 考 文 献

- 1 张一平,白锦麟等. 植物残体腐解过程中的能态变化特征. 西北农业大学学报, 1988, 16(4): 106—109
- 2 Аллев С. А. Метод определения Биоэнергетических балансов органического вещества почвы. Почвоведение, 1975, (4): 27—32
- 3 Дридовец Г. Некоторые энергетические явления в пределах гумификации. Почвоведение, 1979, (11): 68—75
- 4 林心雄,程励励等. 田间测定植物残体分解速率的砂滤管法. 土壤学报, 1981, 18(1): 97—102
- 5 文启孝等. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984, 250—271
- 6 Аллев С. А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почвы. Изд. АН УССР, 1978, 227—236
- 7 Аллев С. А. Метод научения энергии органического вещества почвы. Почвоведение, 1972, (9): 147—149
- 8 张一平,白锦麟等. 不同施肥条件土壤胡敏酸能态的初步研究. 土壤学报, 1985, 22(1): 104—107
- 9 文启孝. 土壤有机质的组成、形成和分解. 土壤, 16(4): 121—129
- 10 Gorham E, Sanger J. Caloric values of organic matter in woodland, swamp and lake soil. *Ecology*, 1967, (3): 492—494
- 11 Ovington J D, Heikamp D. The accumulation of energy in forest plantations in Britain. *J. Ecol.*, 1960, 48(3): 639—646

本刊编委会召开在京编委迎春茶话会

2月10日下午本刊编委会在中国科学院动物研究所多功能厅召开了在京编委迎春茶话会,到会编委16人。本刊主编阳含熙院士主持会议。中国科学院副院长,生态学报名誉主编陈宜瑜院士出席了会议并作了重要发言。本刊编辑部负责人李清淑同志将本刊近期工作进展情况简明地向编委会作了汇报,然后编委们针对办刊的两大主要议题——经费与提高刊物质量也即刊物的生存与发展问题进行了认真地讨论。会上还酝酿了编委会的换届改选问题。会议始终在热烈的气氛中进行。大家一致表示在新的一年里共同努力把刊物办得更好。

本报讯