

不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响

王旭东, 张一平, 吕家珑

(西北农业大学, 陕西杨凌 712100)

樊小林

(华南农业大学)

摘要: 以 21 年长期定位试验土样为材料, 对不同施肥处理土壤有机质的含量、氧化稳定性、胡敏酸的能态、结构及级分组成等进行了研究。结果表明, 与试验前土壤有机质相比, 长期不施肥土壤有机质下降 1.04g/kg; 秸秆加休闲处理, 有机质含量减少 0.48g/kg; 长期单施化肥基本可以维持土壤有机质水平; 长期施用有机肥, 可显著提高土壤有机质水平, 比试验前土壤增加 1.17~ 2.85g/kg。与无肥处理相比, 施用有机肥使有机质的氧化稳定性降低, 而化肥、休闲处理则使有机质的氧化稳定性升高。胡敏酸能态高低顺序是厩肥> 秸秆> 无肥> 化肥> 休闲。与定位 10 年时相比, 各处理土壤胡敏酸能态有所降低。长期施用有机肥土壤胡敏酸分子趋于简单, 活化度提高, 胡敏酸中结构相对简单的级分增多, 而长期单施化肥则呈现相反趋势。

关键词: 土壤有机质; 胡敏酸; 施肥

中图分类号: S147.2 文献标识码: A 文章编号: 0578-1752(2000)02-0075-07

研究土壤有机质的分解、积累以及与施肥、耕作等生产措施的关系, 是农业可持续发展的重要基础理论研究课题^[1]。定位试验是深刻揭示土壤肥力特征的有效手段。多年来关于化肥和有机肥单施或配施条件下, 土壤有机质消长特征、性质方面的研究虽然有一些报道^[2,3], 但总的看来缺乏系统性, 且争议也较多。本文以塿土为对象, 研究了 21 年来不同施肥措施下, 土壤有机质、胡敏酸的性质变化, 为优化土壤管理措施和农业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土样

土样采自西北农业大学有机培肥长期定位试验不同处理耕层(0~ 20cm)。试验地土壤为塿土, 小区面积为 20m², 重复 3 次。一年两熟, 小麦、玉米轮作, 试验于 1977 年 10 月播种小麦开始, 至 1998 年 12 月。每年小麦收获后直接点播玉米, 出苗后人工锄地松土, 玉米收获后采土样(0~ 20cm), 然后施各种肥料(玉米秸秆粉碎< 5cm), 人工翻地(20cm 深), 沟播冬小麦。每年冬季至少进行一次冬灌, 夏季视降水情况决定玉米是否灌溉。各处理施肥情况见表 1。

收稿日期: 1999-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39800093, 39790100)

作者简介: 王旭东, (1965-), 男, 河南唐河人, 副教授, 博士, 从事土壤学研究。

厩肥、玉米秸秆和过磷酸钙在每年冬小麦播前一次施用, 尿素每料作物施 225kg/ha(小麦: 2/3 作底肥, 1/3 作追肥; 玉米: 喇叭口期全部用作追肥), 休闲处理不种作物, 定期铲除杂草, 田间管理同其它处理。试验前土样有机质含量 14.01g/kg、全氮 0.89g/kg、全磷 0.67g/kg、有效磷 7.5mg/kg、碱解氮 54.45mg/kg, 属中等肥力水平土壤。

1.2 分析方法

土壤有机质氧化稳定性采用袁可能^[4]方法: K_{os} (氧化稳定性) = 难氧化碳/易氧化碳。胡敏酸能态测定采用氧弹量热计方法^[5]。胡敏酸活化度测定采用窦森^[5]介绍方法: fa (活化度) = $(0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4 \text{ 氧化 C} / \text{胡敏酸总 C}) \times 100\%$ 。胡敏酸酒精沉淀分级采用文启孝^[6]介绍方法, 其它均采用常规方法。

表 1 试验处理

Table 1 Treatments of fertilizer application (kg/ha)

处 理 T reatm ent	施肥种类 K inds of fertilizer applied			
	尿素 U rea	过磷酸钙 Superphosphate	玉米秸秆 Corn straw	厩肥 Yard manure
	无 肥 No fertilizer	0	0	0
化 肥 Chem ical fertilizer	450	525	0	0
休 闲 Fallow	450	525	9375	0
低 秸 Low level straw	450	525	9375	0
中 秸 M iddle level straw	450	525	18750	0
高 秸 H igh level straw	450	525	37500	0
厩 肥 ¹⁾ Yard manure	450	525	0	37500

¹⁾ 厩肥以猪粪为主, C/N= 12: 1 Pig dung is the main part of yard manure

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理土壤有机质动态变化

2.1.1 无肥处理土壤有机质消长 定位试验进行 21 年来, 无肥处理土壤有机质含量(表 2)有所降低, 平均比试验前土壤有机质含量(14.01g/kg)降低 1.04g/kg。无肥处理土壤有机质的来源主要为作物根茬等残留物, 平均每年碳量为 307.5kg/ha, 根茬的累积系数为 0.5163, 这样每年作物残留物累积的土壤有机碳为 158.8kg/ha。土壤稳定有机质平均每年分解的碳量为 472.5kg/ha(平均每公顷土壤有机质量× 分解系数 0.028), 其数值大于残留物累积的碳量。故在当地气候条件下, 若不施用任何肥料, 仅依靠作物根茬残留碳的循环, 不能维持试验前土壤有机质水平。

2.1.2 单施化肥对土壤有机质消长的影响 单施化肥对土壤有机质消长的影响虽有报道, 但众说纷纭。本试验结果显示, 单施化肥 21 年, 土壤有机质平均含量为 14.09g/kg, 与试验

前有机质水平相比, 两者基本相当。表明施用化肥基本可以维持土壤有机质平衡。尽管施用化肥其残茬量较无肥处理明显增多(594kgC/ha), 但也只能弥补土壤有机质的矿化损失, 不能明显提高其含量。

表 2 定位不同年代各处理土壤有机质含量(g/kg)

Table 2 Content of organic matter in soils with different treatments and time

年代 Year	无肥 No fertilizer	休闲 Fallow	化肥 Chemical fertilizer	低秸 Low level straw	厩肥 Yard manure	中秸 Middle level straw	高秸 High level straw
1978	13.22	13.87	14.27	14.68	14.68	14.67	14.84
1979	12.90	13.71	13.22	13.71	14.69	14.52	14.84
1980	13.06	13.06	13.55	13.87	15.00	14.87	14.68
1981	13.06	13.08	13.71	14.19	15.00	15.00	14.95
1982	13.08	13.07	13.55	13.87	15.02	15.16	15.00
1983	13.39	13.48	13.95	14.68	14.68	15.32	15.01
1984	12.90	13.55	14.19	14.60	15.01	15.81	15.16
1985	12.58	13.23	14.68	14.52	15.16	15.89	15.16
1986	12.59	13.39	13.55	14.52	15.48	15.48	15.48
1987	12.66	13.47	12.90	14.03	15.32	15.16	15.65
1988	12.58	13.39	13.55	14.43	15.80	15.48	15.48
1989	12.74	13.47	13.39	15.00	16.13	15.97	16.13
1990	12.42	13.39	14.52	15.08	16.29	16.32	16.45
1991	12.74	13.06	15.16	15.81	16.61	16.45	16.93
1992	12.90	13.39	14.67	17.09	18.87	18.65	20.32
1993	12.96	13.71	14.35	18.06	20.64	20.00	22.58
1994	14.19	13.06	15.00	17.90	21.93	20.81	22.41
1995	13.18	15.77	14.58	15.80	21.96	18.63	20.52
1998	13.00	14.10	14.70	16.50	20.40	18.28	18.79
X ₇₈₋₉₈	12.97	13.53	14.09	15.18	16.77	16.44	16.86
ΔX	- 1.04	- 0.48	0.08	1.17	2.76	2.43	2.85
ΔX%	- 7.42	- 3.43	0.57	8.35	19.70	17.34	20.34

5% L · S · D = 1.42 1% L · S · D = 2.31

2.1.3 休闲处理土壤有机质消长 与试验前土壤有机质相比, 在施用秸秆和化肥不种作物情况下, 土壤有机质下降 0.48g/kg。土壤有机质含量介于无肥和化肥处理之间。虽然该处理每年施用了不少玉米秸秆, 但因定期铲除杂草, 地表裸露, 受自然因素影响较其它处理严重, 夏季土壤温度较高, 有机物料及土壤稳定有机质的矿化分解作用强。加之该处理不种作物, 无根茬等残落物的补充, 致使土壤有机质有所下降。这给我们一个重要的启示, 农田生态系统通过作物自身调节, 有利于维持土壤有机质的平衡。

2.1.4 有机-无机配合施用对土壤有机质消长的影响 厩肥、秸秆与无机化肥(N、P)配合施用, 土壤有机质含量明显高于无肥处理, 差异达显著或极显著水平。21年有机质绝对值增加 2.21~ 3.89g/kg, 相对值增加 17.0%~ 29.9%, 年均增值为 0.11~ 0.18g/kg。与试验前土壤有机质相比也有明显增加。厩肥、高秸、中秸、低秸处理每年作物留下的根茬碳分别为

652. 2、617. 7、614. 2、604. 0kg/ha。土壤有机质增加幅度随有机物料种类而异, 等量(3. 75×10⁴kg/ha) 秸秆和厩肥相比, 秸秆处理土壤有机质略高, 且随施入有机物料用量的增加而增加, 高秸(16. 9g/kg) > 中秸(16. 4g/kg) > 低秸(15. 2g/kg)。说明在土壤有机质为14. 01g/kg 的中等肥力土壤上, 施用有机物料有利于土壤有机质累积, 且随有机物料增加呈增加趋势。本试验还显示, 厩肥的含碳量虽然比秸秆小得多(前者为 150g/kg, 后者为 480g/kg), 但因其累积系数大(厩肥为 0. 2348, 玉米秸秆为 0. 1201), 再加上每年残留的作物根茬量比秸秆处理的大, 故等量厩肥和秸秆处理土壤有机质差异并不显著。

土壤有机质含量随年代变化不是单一递增或递减, 尤其是无肥、化肥、休闲 3 个处理, 随时间的推移, 含量围绕其平均值呈上下波动。这是由于气温和降水量等气象因素变化所引起的。一般来讲降水量大、温度较低的年份, 土壤有机质偏高, 而降水量少、气温较高的年份, 土壤有机质较低。定位 21 年各处理土壤有机质平均含量为高秸 > 厩肥 > 中秸 > 低秸 > 化肥 > 休闲 > 无肥。方差分析表明, 无肥、休闲、化肥三者之间土壤有机质差异不显著, 但它们和厩肥、高秸、中秸处理差异达 1% 极显著水平。

2. 2 土壤有机质的氧化稳定性

定位 21 年时各处理土壤有机质的氧化稳定性(表 3) 不同。与无肥处理相比, 有机肥处理能明显增加易氧化碳的含量, 且变化幅度很大, 厩肥和高秸处理分别比无肥处理增加 96. 7%、69. 2%, 易氧化碳占总碳的比例也明显增大。而化肥、休闲处理对易氧化碳的绝对数量虽有增加, 但差异不显著, 易氧化碳占总碳的比例还有所下降。各处理虽然对难氧化碳的绝对数量影响不大, 但对难氧化碳占总碳的比例影响较大, 有机肥处理使该比例有明显下降, 化肥、休闲处理使该比例有所上升。与无肥处理相比, 施用有机肥(秸秆、厩肥) 土壤有机质的氧化稳定系数(Kos) 明显变小, 且随有机物料种类和用量不同而不同, 即厩肥 < 秸秆、高秸 < 低秸, 而化肥和休闲处理则使有机质的氧化稳定系数略有增加。

表 3 不同处理有机质的氧化稳定性(定位 21 年)

Table 3 Oxidation stability of organic matter in soils of different treatments (for 21 years)

处 理 T reatment	总碳 Total C (g/kg)	易氧化碳 Readily ox idizable C (g/kg)	难氧化碳 D ifficultly ox idizable C (g/kg)	易氧化碳/总碳 R. O. C/T total C (%)	难氧化碳/总碳 D. O. C/T total C (%)	Kos
无肥 No fertilizer	7. 54a ¹⁾	3. 93a	3. 61a	52. 12	47. 88	0. 92
化肥 Chemical fertilizer	8. 53b	4. 40a	4. 13a	51. 58	48. 42	0. 94
休闲 Fallow	8. 18ab	4. 15a	4. 03a	50. 73	49. 27	0. 97
低秸 Low level straw	9. 57c	5. 60b	3. 97a	58. 52	41. 48	0. 71
高秸 High level straw	10. 90d	6. 65c	4. 25a	61. 01	38. 99	0. 64
厩肥 Yard Manure	11. 83e	7. 73d	4. 10a	65. 34	34. 66	0. 53

¹⁾ a, b, c, d, e 不同字母间表示差异达 95% 显著水平(SSR 检验)

The difference among a, b, c, d, e is significant at 95% level

氧化稳定性是土壤有机质的一个基本属性, 它和有机质抵抗氧化能力有关。一般认为在有机质的分解过程中氧化起重要作用, 通过氧化作用, 有机质分解转化为 CO₂、水和其它盐类。微生物对有机质的分解也主要通过氧化作用来进行。有机质的氧化稳定性关系到有机

质分解的难易,与养分(特别是N素)供应的容量和强度有关,是评价土壤有机质的一项动态质量指标^[7]。因此,施用有机肥不仅可以提高土壤有机质的数量,而且还可以改变有机质的养分供应能力。

2.3 不同施肥处理与年限对土壤胡敏酸能态的影响

不同施肥处理土壤胡敏酸的等容燃烧热值(表4)表明,定位21年胡敏酸的热值呈现厩肥> 秸秆> 无肥> 化肥> 休闲的趋势。与定位10年各处理胡敏酸热值大小顺序基本相似。等容燃烧热反映了胡敏酸所具有的能态。张一平^[3]等人研究结果证明,胡敏酸能态高与其分子较小、缩合程度较低、芳核外围的脂肪族侧链较多有关。因此,有机肥处理土壤胡敏酸能态升高,与施入有机物料在腐植化过程中形成一些芳构化度低、脂肪性强的小分子胡敏酸,从而使土壤胡敏酸的组成比例发生变化有关。

比较定位21年与定位10年土壤胡敏酸热值,各施肥处理定位21年的热值有所下降,表明定位21年时各施肥处理土壤胡敏酸分子缩合程度增高,发生“老化”,说明土壤胡敏酸随时间推移有缩合现象。定位21年与定位10年各施肥处理比较,胡敏酸热值大小相差的顺序为:休闲> 化肥> 无肥> 低秸> 中秸> 高秸> 厩肥,差值大表明胡敏酸的“老化”快。因此,不施有机肥处理(无肥、化肥)胡敏酸的“老化”速度快,而施用有机肥有减缓胡敏酸“老化”的作用。休闲处理在各施肥处理中胡敏酸能态较低,且随时间推移,胡敏酸能态下降幅度最大,表明在无作物种植的生态条件下,空地休闲土壤胡敏酸“老化”作用的速度更趋增强,虽有一定的秸秆施用,但因矿化剧烈,所施秸秆量不足以抑制、减缓其“老化”速度。

表4 不同处理土壤胡敏酸的热值(能态)

Table 4 Caloric values (energy state) of soil humic acids of different treatment

处理 Treatment	定位10年热值 Caloric value for 10 years (J/g)	定位21年热值 Caloric value for 21 years (J/g)	差值 Difference (J/g)
无肥 No fertilizer	15247.07	13924.30	1322.77
化肥 Chemical fertilizer	15286.43	13865.87	1420.56
休闲 Fallow	14047.77	11884.68	1690.09
低秸 Low level straw	15493.25	14824.65	688.60
中秸 Middle level straw	17666.62	17192.86	473.76
高秸 High level straw	16543.30	16178.80	364.50
厩肥 Yard manure	17993.61	17703.99	289.62

2.4 不同施肥处理土壤胡敏酸的性质变化

长期不同施肥处理胡敏酸的化学性质有所不同。与无肥处理相比,长期施用有机肥,胡敏酸的絮凝极限明显增大,而单施化肥有所减小。这说明长期施用有机肥土壤胡敏酸的分子量变小,芳构化度降低,单施化肥则有相反趋势。胡敏酸脂肪碳含量顺序是厩肥> 秸秆> 无肥> 化肥,芳核碳顺序则相反,显示长期不同施肥处理使胡敏酸分子中脂肪族碳与芳核碳的构成比例发生变化。有机肥使土壤胡敏酸的芳构化度降低,脂肪族侧链增加,芳核碳所占比例减少,胡敏酸趋于简单化,而单施化肥处理胡敏酸的“老化”趋势大于无肥处理。活化度是指胡敏酸中能被 $0.02\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KMnO}_4$ 氧化的碳占胡敏酸总碳的百分数,反映出胡敏酸分

子活性的高低。不同施肥处理胡敏酸活化度的高低顺序是厩肥> 秸秆> 无肥> 化肥,说明施用有机肥,不仅使土壤胡敏酸的结构简单,而且使胡敏酸的活性提高。

不同施肥处理胡敏酸官能团的变化显示,与无肥处理相比,化肥处理使胡敏酸的羧基含量增加,而有机肥处理使羧基含量有所下降,尤其是秸秆处理。说明施用有机肥新形成的胡敏酸较多,氧化程度低,施用化肥胡敏酸没有得到很好更新,氧化程度高。

2.5 不同施肥条件土壤胡敏酸的级分变异

胡敏酸是分子量大小不等的一系列高分子缩聚物^[6]。酒精沉淀是根据同一缩聚物中不同分子量组分的临界沉淀点不同而进行的分级。随着酒精浓度增大,胡敏酸中各组分物质按芳构化度由高到低逐渐沉淀出来。以该法对长期不同施肥条件的土壤胡敏酸进行分级,所得各级分重量分布见表5。

表5 不同处理胡敏酸各级分的重量百分数(定位17年)(%)

Table 5 Weight percentage of fractions of humic acid of different treatment (for 17 years)

级分 Fraction	酒精体积 Alcohol volume (m l)	酒精浓度 Alcohol concentration (%)	处理 Treatment				
			无肥 No fertilizer	化肥 Chemical fertilizer	休闲 Fallow	高秸 Straw	厩肥 Yard manure
1	500	33.3	4.15	15.03	12.82	1.56	0.63
2	650	39.4	0.92	23.78	25.24	0.89	0.58
3	850	45.9	25.12	23.68	26.31	8.56	2.19
4	1000	50.0	40.15	1.44	3.45	42.43	16.38
5	1200	54.5	2.26	1.05	0.89	4.06	33.38
6	1700	63.0	1.87	2.79	3.12	7.32	12.02
7	2200	68.8	0.38	5.57	6.41	6.91	4.27
$\sum_{i=1}^7$	-	-	74.75	73.34	78.24	71.74	69.54

$i=1\sim 7$

表5显示,不同施肥处理胡敏酸的级分分布特点明显不同。各级分的重量分布大致反映了胡敏酸组成中分子由大到小的分布情况。无肥处理,土壤胡敏酸以级分4为最多,其次是级分3,其它级分所占比例较小,级分1~3累计占胡敏酸原样的30.19%,级分4~7累计占44.66%。秸秆处理也以级分4为主,但与无肥相比,级分3明显减少,级分5、6、7却明显增多,级分1~3累计占胡敏酸原样的11.10%,级分4~7累计占60.64%。而厩肥处理以级分5为最多,其次是级分4,级分6、7占有较大的比例,级分1~3累计占胡敏酸原样的3.4%,级分4~7占66.05%。无肥、秸秆、厩肥3个处理相比,级分1~3累计所占比例大小顺序是无肥> 秸秆> 厩肥,而级分4~7累计所占比例大小顺序是厩肥> 秸秆> 无肥。因此长期施用厩肥和秸秆,由于新形成的小分子胡敏酸增多,使得胡敏酸中芳构化度低,脂肪性强的小分子组分增多,从而使胡敏酸组成分布中心向级分数大的方向偏移。化肥、休闲处理,土壤胡敏酸以级分2、3居多,级分1也占有较高的比例,级分1~3累计占62.48%(化肥)、64.37%(休闲),级分4~7累计占10.86%(化肥)、13.87%(休闲)。因此,长期单施化肥或休闲处理,胡敏酸的组成分布中心向级分数小的方向移动,这说明长期单施化肥或休闲处理,胡敏酸组成中芳构化度高、分子大的组分占比例多。这与化肥、休闲处理小分子组分补充较少有关(休闲处理虽然有秸秆加入,但其矿化强烈)。至于各施肥处理引起土壤原胡敏酸性

质结构如何变化,还有待通过 ^{14}C 等手段进一步深入研究。胡敏酸各级分的组成变化证实了前述不同处理胡敏酸的性质、能态变化。

在酒精浓度为 68.8% 时,不同处理土壤胡敏酸总的回收率(7 个级分之和)呈现休闲> 无肥> 化肥> 秸秆> 厩肥的顺序,反映出胡敏酸芳构化度越高,其级分回收率也愈高的趋势。

参考文献:

- [1] Schnitter. 土壤有机质的研究方向[J]. 国外农学——土壤肥料. 1985, (4): 78~ 83.
- [2] 窦 森, 姜 岩. 土壤施用有机物料后重组有机质变化规律探讨. II 对重组有机质中腐殖质组成和胡敏酸光学性质影响[J]. 土壤学报. 1988, 25(3): 252~ 261.
- [3] 张一平, 郑 安, 郭俊伟, 等. 不同施肥条件土壤胡敏酸能态的初步研究[J]. 土壤学报. 1985, 22(1): 104~ 107.
- [4] 袁可能, 张友全. 土壤腐殖质氧化稳定性的研究[J]. 浙江农业科学. 1964, (7): 345~ 349.
- [5] 窦 森, 陈恩凤, 须湘成. 土壤有机培肥后胡敏酸结构特征变化规律探讨[J]. 土壤学报. 1992, 29(2): 237~ 247.
- [6] 卓苏能, 文启孝. 胡敏酸的酒精分级沉淀法分级[J]. 土壤学报. 1994, 31(3): 251~ 258.
- [7] 袁可能. 土壤有机矿物质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究[J]. 土壤学报. 1963, 11(3): 286~ 292.

Effect of Long Term Different Fertilization on Properties of Soil Organic Matter and Humic Acids

Wang Xudong, Zhang Yiping, Lü Jialong

(Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Fan Xiaolin

(South China Agricultural University)

Abstract: Soil samples taken from a long term fixed spot experiment (21 years) with different fertilization were used to study the content and oxidation stability of soil organic matter, the energy state, structure and fractions of soil humic acids. The main results showed that compared with the content of organic matter before experiment, the soil organic matter content decreased by 1.04 g/kg with no fertilization, and decreased by 0.48 g/kg with fallow, application of chemical fertilizer for 21 years could maintain the level of soil organic matter, and applying organic materials (yard manure or corn straw) caused organic matter to be increased by 1.17~ 2.85 g/kg. Application of organic materials reduced the oxidation stability of soil organic matter as compared with no fertilization. The opposite was true to the treatments of chemical fertilizer or fallow. After 21 years, the soil humic acid energy state was lower than that after 10 years. The energy state order of different treatments was yard manure> straw> no fertilization> chemical fertilizer> fallow. Application organic materials for a long time made the molecular of humic acid become simpler, and increased the humic acid activity and its simple fractions. The results of application of chemical fertilizer was on the contrary.

Key words: Soil organic matter; Humic acids; Application of fertilizer