

# 红壤腐殖质组成变化特点 及其与肥力演变的关系

李忠佩 程励励 林心雄

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

**摘 要** 本文根据面上采样分析和田间定位试验结果,研究红壤腐殖质组成性质变化特点及其与红壤肥力演变的关系。结果表明,旱地红壤腐殖质的 H/F 比值主要分布在 0.1 ~ 0.4,红壤水稻土主要分布在 0.3 ~ 0.7,且有从南到北升高,从东到西降低的变化趋势;红壤腐殖质的 H/F 比值与土壤有机碳含量呈正相关,但在停止外源碳进入 8 年后,土壤腐殖质的 H/F 比值和  $E_4$  值有升高的趋势,侵蚀降低红壤腐殖质的 H/F 比;土地利用方式的变更由于改变了系统的物质循环状况,对土壤腐殖质的 H/F 比有明显影响,荒草地和次生林地改为园地,明显提高土壤有机碳含量和腐殖质的 H/F 比值。

**关键词** 红壤;腐殖质组成;肥力演变

日益引起人们广泛重视的红壤退化有诸多的表现形式,包括水土流失、酸化、肥力衰减及季节性干旱等,而本质是肥力问题<sup>[1]</sup>。土壤有机质的数量与质量变化是土壤肥力及环境质量状况的最重要表征,是制约土壤理化性质如水分、通气性、抗蚀力、供保肥能力和养分有效性等的关键因素,保持土壤中较高的有机质数量和质量水平是土地持续利用和作物高产稳产的先决条件。土壤有机质含量变化是土壤肥力变化的最明显反映,此外,有机物质进入土壤后,在微生物的作用下,转化形成土壤腐殖质,土壤腐殖质的组成性质状况对土壤的物理、化学及生物学性质等都有重要影响,也反映土壤肥力的高低变化。

土壤有机碳的含量水平作为表征土壤肥力状况的重要指标<sup>[2]</sup>,已经为人们所广泛接受。长期以来,人们在分析土壤肥力与土壤有机质的相互关系时,腐殖质的组成性质变化也一直为人们所重视,许多研究试图通过腐殖质变化来表征土壤肥力的演变情况,然而,由于腐殖质组成性质的复杂性和影响因素的多变性,要明确评价土壤肥力变化的有关腐殖质方面的指标体系,还需要进行大量的工作。本文根据采样分析和田间定位试验结果,探讨红壤腐殖质组成性质变化特点及其与红壤肥力演变的关系,为建立红壤质量变化的评价指标体系提供数据积累,也为提出防止红壤退化的治理措施提供科学参考。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 供试土壤

供试土壤分别采自我国南方红壤地区不同母质、不同肥力水平、不同利用方式下典型土壤的表层样品。

### 1.2 田间试验

通过田间设立微区,观测碳循环水平明显降低后腐殖质的组成变化。微区面积 1m ×

1m, 于 1988 年 10 月将分层采集的典型第三纪、第四纪、紫色土、花岗岩等母质发育、具有代表性肥力水平的土壤, 按层次填入 0.75m 深的用红石建造的微区中, 微区与微区间隔 2m, 作为保护行。试验区按大田条件种植作物, 施用化肥但不施有机肥, 其它管理条件也相同。于 1996 年 10 月采样分析。

### 1.3 分析方法<sup>[3]</sup>

土壤腐殖质组成用快速法, 胡敏酸光密度用分光光度计测定, 土壤有机碳用丘林法, 土壤全氮用开氏法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 红壤区土壤腐殖质组成的分布及变异特点

2.1.1 红壤区土壤腐殖质 H/F 比的分布特点 测定结果表明(图 1), 红壤区土壤腐殖质的 H/F 比值变动范围较大, 从 <0.1 到 >1.0 都有出现。供试土壤中, 红壤有机碳含量 <15g/kg

的占 60.5% 平均值为 15.5g ± 11.2g/kg, 其腐殖质的 H/F 比值集中在 0.1 ~ 0.4 之间, 占样本总数的 60.5%, 但 <0.1 和 >0.4 仍占相当比例; 水稻土有机碳含量在 10 ~ 30g/kg 之间的占 80%, 平均值为 15.9g ± 6.70g/kg, 其腐殖质的 H/F 比值集中在 0.3 ~ 0.7 之间, 占样本总数的 76.9%。与其它地区的土壤相比<sup>[4]</sup>, 红壤区土壤腐殖质的 H/F 比值较低, 这是由本区的生物气候条件决定的<sup>[5]</sup>, 本区高温多雨, 土壤酸度较高, 矿物高度风化, 胡敏酸的分子量较小, 复杂程度较低, 活性较大, 腐殖质中以富里酸为主体。

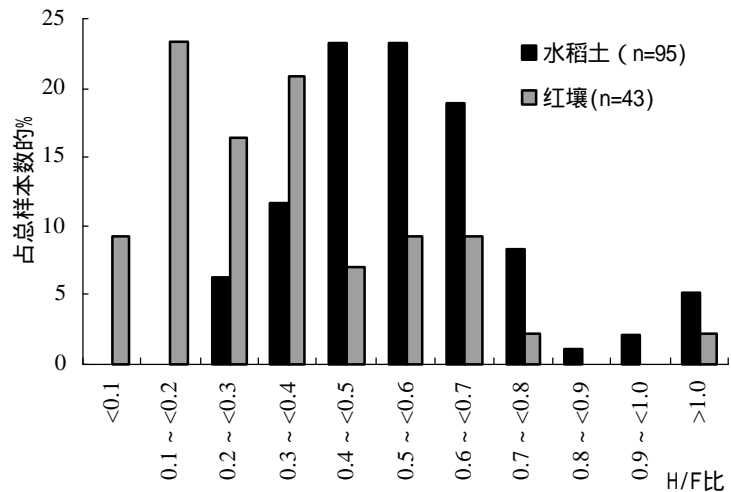


图 1 红壤区土壤腐殖质 H/F 比值的分布特点

比较而言, 红壤腐殖质 H/F 比值的变异程度较大, C.V% 为 70.6%, 而水稻土较小, C.V% 为 37.5%, 这与红壤本身的肥力水平差异明显有关<sup>[5]</sup>, 由于红壤发育于花岗岩、第四纪红色粘土、第三纪红砂岩风化物、紫色砂岩等众多的母质类型, 利用方式和轮作制度差别很大, 侵蚀程度强弱明显, 因此不同地区土壤的理化性质有显著差别, 造成了其腐殖质组成差异较大。而水稻土, 由于地形和长期耕作的原因, 影响腐殖质组成的因子的变异程度相对较小。

2.1.2 红壤区不同土壤腐殖质组成变化 不同土壤之间的差异实际上是母质、气候、人为利用方式和强度等因素综合作用的结果。结果表明 (表 1), 除山地草甸土及部分山地土壤 (黄红壤、黄棕壤) 外, 南方旱地土壤腐殖质的 H/F 比值均在 0.4 左右, 而水田土壤在 0.6 左右, 提取碳量在 30 ~ 35% 左右, E<sub>4</sub> 值为 0.7 ~ 1.4。由此可见, 在特定区域内, 不同土壤之间腐殖质 H/F 比值的差异主要与水分状况有关, 在淹水条件下, 有利于有机质的积累和胡敏酸的缩合, 胡敏酸的比例明显增加<sup>[6]</sup>。另外, 就红壤地区而言, 水田条件下有

机物质的进入量(包括施肥和根茬进入)较早地和次生林高,有机物质的分解速率却较低,因此有利于土壤有机质的积累和腐殖质的形成。

表1 红壤区不同土壤腐殖质组成特点

土壤类型	全 C (g/kg)	全 N (g/kg)	提取 C 占总 C (%)	胡敏酸 C 占总 C (%)	富里酸 C 占总 C (%)	H/F 比	E <sub>t</sub>
水稻土 (95)	15.9±6.70	1.57±0.61	31.9±6.25	10.9±2.80	21.0±5.34	0.56±0.21	0.76±0.26
红壤 (43)	15.5±11.2	1.32±0.76	33.8±5.69	7.63±4.13	25.8±6.21	0.34±0.24	0.73±0.32
黄壤 (6)	36.4±31.7	2.51±2.07	40.1±5.37	12.1±5.96	28.0±4.99	0.46±0.30	1.43±0.73
石灰土 (6)	16.1±11.5	1.56±1.12	31.6±8.13	6.42±3.21	25.2±8.97	0.43±0.30	0.90±0.15
紫色土 (4)	8.64±1.67	0.87±0.10	28.1±10.2	7.53±2.70	20.6±9.48	0.41±0.16	1.21±0.51
山地草甸土(3)	62.3±36.0	4.80±2.22	35.9±15.8	12.8±4.91	23.5±14.9	0.72±0.42	1.11±0.91
山地黄棕壤(3)	39.0±9.59	2.22±0.31	40.5±10.6	12.8±3.80	31.0±5.11	0.43±0.16	1.09±0.08
潮土 (3)	13.1±12.8	0.94±0.52	25.7±15.1	7.3±3.6	18.4±11.7	0.43±0.08	0.85±0.55
黄红壤 (1)	43.2	2.66	33.4	13.6	19.8	0.69	0.81
黄棕壤 (1)	68.4	5.19	36.2	16.6	19.6	0.85	1.3

注:括号中为标本数。

2.1.3 红壤区腐殖质组成的区域差异 腐殖物质的形成过程是一个生物学过程。因此,土壤腐殖质的组成和性质随生物气候条件而异。以江西省为例(表2),土壤腐殖质的H/F比值从南到北升高,从东到西降低。这种变化趋势主要是气候条件差异的结果。不同土壤之间,红壤的变异趋势比水稻土明显。不同地区土壤腐殖质组成的变异说明水热条件对腐殖质性状的重大影响。红壤和水稻土由于水分状况的差异导致不同地区间腐殖质组成的变异趋势的明显程度不同,进一步说明水热条件的作用。和同一地区的自然植被下或旱耕条件下的土壤比较,水稻土的H/F比值较高,但区域之间的差异并不明显,这是因为特殊的土壤水分状况影响的结果。

表2 江西省红壤和水稻土腐殖质组成的区域差异

地区	项 目 土壤	全 C (g/kg)	全 N (g/kg)	提取 C 占总 C (%)	胡敏酸 C 占总 C (%)	富里酸 C 占总 C (%)	H/F 比	E <sub>t</sub>
赣州	红壤(1)	4.21	0.42	31.6	7.1	24.5	0.29	0.14
	水稻土(7)	13.4±7.50	1.30±0.68	28.3±5.31	9.71±2.55	18.6±4.05	0.56±0.15	0.40±0.34
吉安	红壤(8)	21.3±13.5	1.84±1.04	36.1±5.19	8.06±2.78	27.4±6.02	0.32±0.17	0.83±0.17
	水稻土(9)	14.3±2.28	1.53±0.24	31.6±3.49	10.3±1.94	21.3±3.06	0.49±0.11	0.74±0.10
南昌	红壤(5)	14.3±9.55	1.33±0.62	32.6±3.34	8.58±5.22	24.0±3.08	0.38±0.28	0.69±0.53
	水稻土(10)	17.0±5.35	1.79±0.44	30.6±4.66	10.3±2.68	20.3±5.44	0.56±0.27	0.86±0.20
九江	红壤(2)	15.8±6.01	1.51±0.47	25.5±6.01	7.95±2.90	17.5±3.18	0.45±0.08	0.07±0.01
	水稻土(4)	12.0±5.74	1.31±0.42	32.7±3.63	9.53±1.93	23.1±2.04	0.41±0.06	0.64±0.43
上饶	红壤(5)	15.7±11.4	1.33±0.57	35.3±3.35	10.8±3.07	24.6±4.74	0.47±0.20	0.84±0.14
	水稻土(11)	17.6±5.41	1.80±0.54	30.3±3.23	11.8±1.58	18.5±2.26	0.64±0.09	0.69±0.10
抚州	红壤(6)	26.6±11.8	1.82±0.85	34.3±6.57	7.67±4.48	25.1±6.65	0.41±0.19	0.94±0.14
	水稻土(17)	16.6±6.39	1.52±0.51	30.4±5.38	9.98±1.59	20.4±5.47	0.55±0.28	0.87±0.28
宜春	红壤(4)	10.8±2.45	0.82±0.16	36.3±2.34	6.98±2.57	29.4±0.91	0.24±0.09	0.69±0.20
	水稻土(13)	17.0±5.35	1.69±0.51	31.2±5.18	10.9±3.18	20.4±4.63	0.56±0.20	0.80±0.11

注:括号中为标本数。

2.2 红壤腐殖质组成变化与肥力演变的关系

2.2.1 土壤有机碳含量与腐殖质组成变化的关系

测定结果的统计分析表明(图2),腐殖质的H/F比值与土壤有机碳含量呈极显著的正相关。从区域水平上来看,人为活动通过施肥、变换轮作制度、耕作管理等措施影响土壤有机碳含量水平。另一方面,土壤腐殖质大致可以分成新形成的和原有的两部分,在正常的施肥条件下,变化较大的是新形成的腐殖质这一部分,有机物

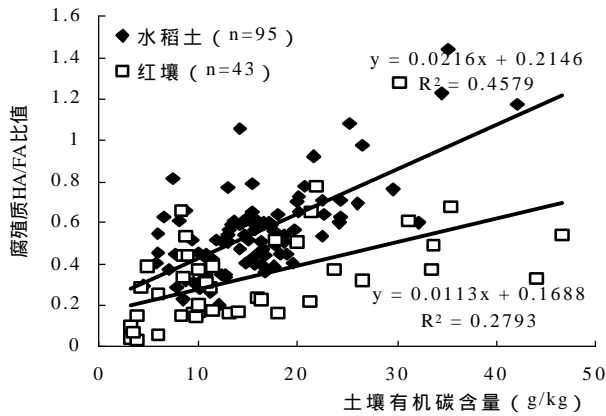


图2 红壤区土壤腐殖质的H/F比值与有机碳含量的关系

质循环水平的高低直接影响了新形成腐殖质的含量,也影响了腐殖质H/F比值的

变化。2.2.2 碳循环水平变化对腐殖质组成的影响 试验结果表明(表3),耕作土壤在停止人为添加有机物8年后,土壤有机碳含量约下降了5~50%,有机质的提取率降低8~25%,H/F比值和胡敏酸的光密度值分别约升高0.1~0.3和0.1~0.4,变化的幅度与原土有机碳含量的高低有关,原土有机碳含量越高变化幅度越大。人为利用条件下,腐殖质的耗(特别是没有补充有机物质时)主要是由于其新形成的规模小于分解。在只有化学损失(分解)没有物理损失(径流)的情况下,不补充或很少补充外源有机物质,腐殖物质新形成过程减弱,结构简单的腐殖物质进一步缩合,与矿物质结合的程度加大,腐殖物质老化,抗分解的能力增强,养分有效性降低。

表3 有机碳循环水平变化对红壤腐殖质组成的影响

母质类型	利用方式	测定时间	全C (g/kg)	全N (g/kg)	提取C 占总C(%)	胡敏酸C 占总C(%)	富里酸C 占总C(%)	H/F比	E <sub>t</sub>
第三纪红砂岩风化物	旱作	1988	4.87	0.34	29.6	3.44	26.2	0.13	0.45
		1996	4.14	0.48	39.0	9.26	29.7	0.31	0.61
第四纪红色粘土	旱作	1988	7.27	0.79	41.0	7.49	33.5	0.22	0.59
		1996	7.98	0.92	31.2	5.51	25.7	0.21	0.52
第四纪红色粘土	草地	1988	7.27	0.79	41.0	7.49	33.5	0.22	0.59
		1996	12.3	1.14	37.6	11.2	26.4	0.42	0.51
第四纪红色粘土	旱地	1988	7.27	0.79	41.0	7.49	33.5	0.22	0.59
		1996	6.90	0.80	31.3	7.25	24.1	0.30	0.77
花岗岩	旱作	1988	16.6	1.20	20.6	6.39	14.2	0.45	1.02
		1996	10.9	0.83	15.9	2.53	13.4	0.19	0.78
紫色砂岩	旱作	1988	6.02	0.79	34.1	9.35	24.8	0.38	1.35
		1996	5.48	0.77	34.8	13.6	21.2	0.64	1.43
第三纪红砂岩风化物	水田	1988	11.7	1.13	36.2	13.9	22.3	0.63	0.64
		1996	11.7	1.25	31.8	12.3	19.5	0.63	0.83
第四纪红色粘土	水田	1988	20.0	1.80	33.7	13.4	20.3	0.66	0.55
		1996	14.7	1.62	36.4	15.3	21.1	0.73	0.76
第四纪红色粘土	水田	1988	20.0	1.80	33.7	13.4	20.3	0.66	0.55
		1996	12.3	1.32	34.3	12.7	21.6	0.59	0.83
花岗岩	水田	1988	6.14	0.53	/	/	/	/	/
		1996	8.95	0.82	17.2	4.84	12.4	0.39	0.59
紫色砂岩	水田	1988	18.0	1.78	30.3	8.28	22.0	0.38	0.84
		1996	9.58	1.15	11.1	3.97	7.13	0.56	1.28

2.2.3 侵蚀对红壤腐殖质组成变化的影响 在有侵蚀的情况下,腐殖物质的损失包括化学的和物理的两个方面。由于随径流移出的土粒(粘粒)有机碳含量比本土高得多,其H/F比值及胡敏酸的比例也较高,因此,侵蚀造成土壤有机碳含量降低的同时,也大大降低胡敏酸的比例和H/F比值(表4)。表中结果表明,从弱侵蚀到强度侵蚀,土壤有机碳含量下降了70%,胡敏酸碳下降了77%,H/F比值下降0.4,光密度值也有较大幅度下降。可见,物理损失(径流)由于直接移去富含有机碳和胡敏酸的土粒,不仅腐殖物质的总量明显减少,而且残留结构简单的组分,不利于土壤结构的形成。

表4 不同侵蚀程度下花岗岩发育红壤的腐殖质组成变化

侵蚀程度	全C (g/kg)	全N (g/kg)	pH	提取C 占总C(%)	胡敏酸C 占总C(%)	富里酸C 占总C(%)	H/F比	E <sub>d</sub>
弱侵蚀	14.3	1.11	6.0	23.4	7.23	16.2	0.45	1.04
中度侵蚀	6.78	0.51	5.0	31.8	4.29	27.5	0.16	0.85
强侵蚀	4.73	0.23	4.5	35.1	1.69	33.4	0.05	/

## 2.3 土地利用与红壤腐殖质的组成变化

2.3.1 土地利用方式变更对腐殖质组成的影响 研究表明(表5),在红壤地区的不同土壤上,从荒草地、次生林地改为园地,土壤有机碳含量增加的幅度可从20%到数倍,

表5 不同利用方式下土壤有机碳含量和腐殖质组成变化

土壤类型	采样地点	母质类型	利用方式	全C (g/kg)	全N (g/kg)	提取C 占总C(%)	胡敏酸C 占总C(%)	富里酸C 占总C(%)	H/F比
水稻土	广东东莞	河流冲积物	水田改园地	10.1±0.75	0.95±0.07	37.8±3.03	12.2±1.55	25.6±1.56	0.48±0.04
			水田撂荒	13.7±3.24	1.18±0.21	34.4±1.63	10.4±0.14	24.0±1.77	0.44±0.04
			水田	11.1	0.86	29.3	6.09	23.2	0.26
红壤	江西兴国	紫色砂页岩	李子园	4.81	0.65	19.9	5.61	14.3	0.39
			荒草地	8.99	0.82	20.7	6.34	14.4	0.44
	福建长汀	花岗岩	板栗园	9.86	0.85	36.2	9.84	26.4	0.37
			马尾松林	8.24	0.64	28.4	3.76	24.7	0.15
	湖南冷水滩	红砂岩	老桔园	9.98	1.10	42.4	7.18	35.3	0.20
			新垦桔园	5.86	0.80	33.7	1.88	31.6	0.06
			马尾松林	3.71	0.61	35.6	1.19	34.5	0.03
			侵蚀劣地	3.19	0.61	33.8	1.16	32.7	0.04
	江西鹰潭	红砂岩	茶园	16.3	1.76	30.6	5.66	24.9	0.23
			旱地	3.89	0.49	43.1	5.71	37.3	0.15
			马尾松林	3.42	0.73	31.3	1.96	29.3	0.07
赤红壤	福建诏安	花岗岩	龙眼园	9.57	0.82	38.5	9.17	29.3	0.31
			针阔混交林	7.77	0.72	42.6	5.22	37.4	0.14
			荒草地	4.81	0.44	21.7	1.31	20.4	0.06
	广东东莞	花岗岩	老园地	5.74	0.54	49.6	10.1	39.4	0.26
			荔枝园	8.01	0.71	32.2	5.52	26.7	0.21
			针叶林	8.01	0.70	31.9	4.46	27.4	0.16
砖红壤	广东徐闻	玄武岩	高产蔗园	14.3	1.54	37.7	5.68	32.0	0.18
			旱地	11.9	1.20	38.2	4.80	33.4	0.14
			海南屯昌	花岗岩	旱地	4.93	0.46	35.7	10.3
			林地	15.0	0.98	32.6	5.56	27.1	0.21
			荒地	25.0	1.62	32.2	6.9	25.2	0.27

增加幅度之间的变异如此之大与园地类型、利用历史、背景土壤的有机碳含量以及施肥管理水平的差异有关，但改为园地可以较明显增加土壤有机碳含量是肯定的。另外，改为园地，土壤腐殖质组成也有明显变化，H/F 比提高 0 ~ 0.3，平均提高 0.14。

由于生产目的不同，土地利用方式变更往往带来人为活动方式和强度以及立地生物类群的大的差异，造成有机物质种类和输入量、水分状况、微生物特性的变化，改变了原有的碳循环状况，影响着土壤腐殖质的形成和转化过程。因此，有目的的土地利用方式变更，是南方红壤区改良土壤和提高土地生产力的常用措施。园地是红壤区最主要的经济林用地，施肥和管理水平均较高；荒地、次生林地、旱地改为园地后，通过铺草、施用饼肥或猪厩肥等，有机物质进入量增加 1 倍以上，大大改善了有机碳的循环状况，有机碳含量提高，腐殖质的品质也得到改善。另外，次生林地（主要是针叶林）改为园地后，由于物质归还种类也发生了变化，单宁含量较低的阔叶类物质代替单宁含量较高的针叶类物质有利于胡敏酸的形成。

2.3.2 不同种植年限水稻土的腐殖质组成变化 水耕熟化过程和淹水时间长短不同，对土壤腐殖质的组成影响较大。总体来说（表 6），随着利用年限增加，熟化程度提高，有

表 6 不同种植年限水稻土腐殖质的组成变化

种植年限 (年)	全 C (g/kg)	全 N (g/kg)	提取 C 占总 C(%)	胡敏酸 C 占总 C(%)	富里酸 C 占总 C(%)	H/F 比
20	12.1	1.28	44.9	7.6	37.3	0.20
30	11.0 ± 6.08	1.07 ± 0.63	37.5 ± 4.11	10.1 ± 1.75	27.4 ± 2.91	0.37 ± 0.05
50	15.5 ± 2.56	1.66 ± 0.17	38.8 ± 6.80	15.6 ± 3.89	23.2 ± 2.98	0.67 ± 0.09
100	15.4	1.53	26.5	11.7	14.8	0.79

利于腐殖质的形成和胡敏酸的缩合。但从结果还可以看出，利用 20~30 年的水稻田，与旱地差别最大的是土壤有机碳含量，即使与平均水平的旱地比，土壤有机碳含量也要高 30% 以上，但 H/F 比值却相差甚小；而从 30 年到 100 年的水稻田，土壤有机碳含量提高 27%，而 H/F 比值提高近 2 倍。这种变化趋势是有机碳积累和各组分间转化过程阶段差异的结果，对南方红壤水稻土的统计结果也证实这种变化趋势的存在（图 3）。

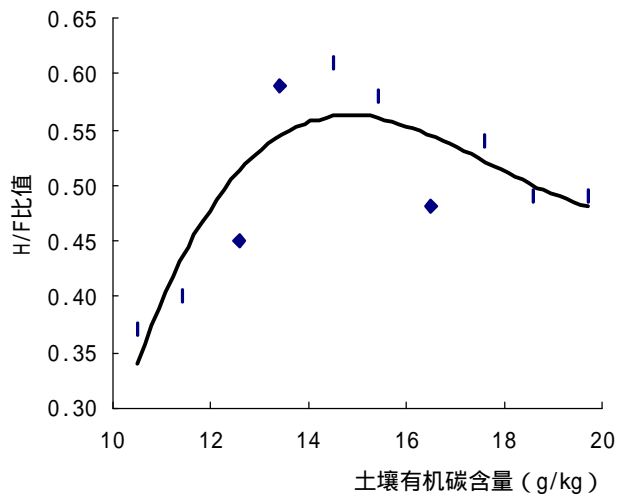


图 3 土壤有机碳含量变化与腐殖质 H/F 比值的相互关系

### 3 结论

1. 红壤区土壤类型复杂，气候差异很大，土地利用方式的区域差别明显，有机物质的输入量高低不等，导致土壤腐殖质的 H/F 比值的变动范围较大，从 <0.1 到 >1.0 都有分布。

2. 不同土壤之间,由于水分状况、植物种类等的差异,其腐殖质的 H/F 比值也有明显差别,旱地红壤主要分布在 0.1 ~ 0.4,红壤水稻土主要分布在 0.3 ~ 0.7。此外,土壤腐殖质的 H/F 比值有从南到北升高,从东到西降低的变化趋势,表明湿度大、气温低的条件下有利于胡敏酸的形成。

3. 在正常情况下,土壤腐殖质的 H/F 比值与土壤有机碳含量呈正相关;但在停止外源有机碳进入 8 年后,土壤腐殖质的 H/F 比值和  $E_4$  值有升高的趋势,表明新形成的腐殖质如果不能得到补充,原有的腐殖质将逐渐缩合老化,抗分解能力增强,养分有效性降低。侵蚀导致富含胡敏酸土粒的损失,降低土壤腐殖质的 H/F 比。

4. 土地利用方式的变更由于改变了系统的物质循环状况,对土壤腐殖质的 H/F 比有明显影响。荒草地和次生林地改为园地,明显提高土壤有机碳含量和腐殖质的 H/F 比值。

5. 总之,腐殖质组成变化与土壤肥力的演变有密切关系,但从相关关系分析也表明,由于腐殖质组成变化受许多因素影响,与肥力演变的关系可能更复杂。从目前的研究来看,有机碳总量、微生物生物碳量(或呼吸强度)、腐殖质组成(H/F 比)、有机物料分解速率与土壤肥力都有密切关系,在这些因子中,有机碳总量反映碳库的容量大小,微生物生物量代表碳库循环的速度及碳源的有效性,腐殖质组成反映腐殖物质的缩合程度,有机物料分解速率反映外源有机养分的有效性,这些指标综合起来可以更好地反映土壤有机质质量状况的总体水平。有关这方面还需要进行更多的研究工作。

#### 参 考 文 献

- 1 张桃林主编. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999, 138
- 2 何电源主编. 中国南方土壤肥力与栽培植物施肥. 北京: 科学出版社, 1994, 588
- 3 文启孝主编. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984, 318
- 4 熊毅, 李庆逵主编. 中国土壤(第二版). 北京: 科学出版社, 1990, 746
- 5 赵其国, 龚子同, 徐琪等编. 中国土壤资源. 南京: 南京大学出版社, 1991, 561
- 6 程励励, 文启孝, 吴顺令, 徐宁. 植物物料的化学组成和腐解条件对新形成腐殖质的影响. 土壤学报, 1981, 18(4): 360 ~ 367