

# 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响\*

沈 宏 曹志洪

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

徐志红

(澳大利亚昆士兰林业研究所, 昆士兰 4570)

**摘 要** 分析了施肥对土壤活性碳( $C_A$ )、微生物生物量碳( $C_{MB}$ )、矿化碳( $C_M$ )及碳库管理指数(CPMI)的影响。结果表明,不同土壤  $C_A$ 、 $C_{MB}$ 、 $C_M$ 及 CPMI 的大小为:水稻土>黄棕壤>红壤>潮土。施肥对  $C_A$ 和 CPMI,  $C_{MB}$ 和  $C_M$ 的影响分别为:处理 3 > 处理 5 > 处理 1 > 处理 4 > CK, 处理 3 > 处理 5 > 处理 4 > 处理 1 > CK。在提高  $C_A$ 、 $C_{MB}$ 、 $C_M$ 及 CPMI 方面,稻草肥、绿肥优于厩肥,厩肥高量施用优于常量施用。施肥 10 年与 5 年相比,潮土中 CPMI 处理 7 和 9 上升,处理 8 和 CK 下降。相关分析表明:CPMI 与土壤养分因子相关或极相关,反映了农业生产措施对土壤碳库的影响,可以运用 CPMI 来评估土壤碳库的变化。

**关键词** 活性碳,微生物生物量碳,矿化碳,碳库管理指数

**中图分类号** S153.61

土壤碳库动态平衡是土壤肥力保持和提高的重要内容,它与作物营养、土壤管理关系密切,直接影响作物产量和土壤肥力的高低<sup>[1,2]</sup>。一般认为,土壤有机碳含量与土壤肥力高低呈正相关。而近年来,有学者指出<sup>[3~5]</sup>,当土壤肥力达到一定水平或有机碳含量超过一定数量时,两者之间不是正相关,这实际上存在着有机碳的质量问题。Blair 等人<sup>[5,6]</sup>把土壤碳素划分为有效碳和稳态碳两部分,指出有效碳在调节土壤养分流向方面有重要作用,不仅对农业生产措施反应灵敏,而且与土壤潜在生产力关系密切,而稳态碳素只影响土壤性质。由于背景值很高和自然土壤分异性大,整个土壤碳库的微小变化很难发现,因此探求土壤全碳敏感指示因子很必要,同时,这使得对土壤碳库变化的定量即碳库管理指数的建立更为迫切。一些学者认为<sup>[7~9]</sup>,土壤微生物生物量碳/全碳,作为土壤碳库质量的敏感指示因子可以推断碳素有效性,土壤矿化碳与全碳的比值可以指示土壤有机碳活性,土壤难氧化碳与全碳的比值可以度量土壤有机碳的氧化稳定性。土壤有机碳的活性,氧化稳定性和抗生物降解能力是反映土壤碳库的重要指标,对评价土壤有机质和土壤肥力状况有重要意义。

\* 本文得到了国家自然科学基金项目(批准号:49671043)的资助

收稿日期:1998-10-03;收到修改稿日期:1999-04-12

本文借助长期肥料试验,较系统地研究了施肥对不同农田土壤不同形态碳素及碳库管理指数的影响,并讨论了碳素有效率、CPMI与主要农化性状的相关性。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试土壤和肥料

供试潮土采自河南新乡(分别耕种5年、10年),水稻土采自江苏常熟(耕种8年),黄棕壤采自南京郊区(耕种8年),红壤采自江西鹰潭(耕种8年),所有土壤均为0~15cm耕层土壤,过2mm筛,捡去作物残根。一部分土壤自然晾干,另一部分土壤保持在0℃和田间持水量条件下,用于生物培养。由于农田土壤一般受环境因子的影响较大,在本试验中,选取与试验地土壤类型相同、位置相近、受人类扰动较小或不受扰动的林地、墓地、未垦地或原始森林土壤作为参照土壤<sup>[5]</sup>。供试尿素(含N)455g/kg,磷肥有过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)160g/kg和钙镁磷肥(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)165g/kg;厩肥含有机碳353g/kg,全氮16.5g/kg;绿肥含有机碳428g/kg,全氮24.1g/kg;稻草肥含有机碳386g/kg,全氮19.4g/kg。

表1 试验处理设计

Table 1 Design of experimental treatments

土壤 Soils	处 理 Treatment	施 用 量 Application(kg/hm <sup>2</sup> )
红 壤	1 参照土壤	—
	2 对照(CK),即不施肥土壤(耕种8年)	—
	3 厩肥,即猪粪与垫料的混合物(耕种8年)	15000
	4 NPK(耕种8年)	N300 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 150 K <sub>2</sub> O150
	5 厩肥+NPK(耕种8年)	7500+N150, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 75, K <sub>2</sub> O75
	6 绿肥耕种8年	15000
黄 棕 壤	1 参照土壤	—
	2 对照(CK),即不施肥土壤(耕种8年)	—
	3 厩肥,即猪粪与垫料的混合物(耕种8年)	15000
	4 NPK(耕种8年)	N300 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 150 K <sub>2</sub> O150
	5 厩肥+NPK(耕种8年)	7500+N150, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 75, K <sub>2</sub> O75
	6 厩肥高量施用(耕种8年)	22500
水 稻 土	1 参照土壤	—
	2 对照(CK),即不施肥土壤(耕种8年)	—
	3 厩肥,即猪粪与垫料的混合物(耕种8年)	15000
	4 NPK(耕种8年)	N300 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 150 K <sub>2</sub> O150
	5 厩肥+NPK(耕种8年)	7500+N150, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 75, K <sub>2</sub> O75
	6 稻草肥(耕种8年)	15000
潮 土	1 参照土壤	—
	2 对照(CK),不施肥土壤(耕种5年)	—
	3 厩肥,即猪粪与垫料的混合物(耕种5年)	15000
	4 NPK(耕种5年)	N300 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 150 K <sub>2</sub> O150
	5 厩肥+NPK(耕种5年)	7500+N150, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 75, K <sub>2</sub> O75
	6 对照(CK),不施肥土壤(耕种10年)	—
	7 厩肥,即猪粪与垫料的混合物(耕种10年)	15000
	8 NPK(耕种10年)	N300 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 150 K <sub>2</sub> O150
	9 厩肥+NPK(耕种10年)	7500+N150, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 75, K <sub>2</sub> O75

## 1.2 试验处理设计

试验处理设计见表 1。每季作物肥料施用量为总施肥量的一半,均作基肥。潮土为小麦—玉米轮作,水稻土为稻—麦轮作,黄棕壤为玉米—油菜轮作,红壤为花生—小麦轮作。

## 1.3 测定方法

土壤活性碳、全碳、稳态碳:称取 2g 风干土壤样品(其中含 C 15~30mg),于 100ml 塑料瓶内,加入 333 mmol/L 的高锰酸钾溶液 25ml,振荡 1 小时。空白试验同时进行,三次重复。振荡后样品离心 5 分钟(转速 4000 r/min),取上清液用去离子水按 1:250 稀释。然后将上述稀释液在 565nm 波长处进行比色,注意土壤样品的含碳量一定要落在系列含碳范围内。土壤碳素氧化量用 mg/g C 表示(1 mmol/L  $\text{KMnO}_4$  氧化 1 mgC),根据消耗的  $\text{KMnO}_4$  量,求出样品活性碳含量。全碳采用碳、氮自动分析—质谱联用仪(ANCA-MS)测定,总碳与活性碳的差值为稳态碳( $C_{\text{UA}}$ )。土壤微生物量碳、氮:氯仿薰蒸法<sup>[9]</sup>。土壤有效氮、全氮、速效磷、速效钾:常规分析方法<sup>[10]</sup>。土壤矿化碳:采用碱吸收法<sup>[11]</sup>。

## 1.4 碳素有效率及碳库管理指数计算方法

碳素有效率计算方法如下: $A_{\text{AC}} = C_{\text{A}}/C_{\text{T}}$ ,  $A_{\text{BC}} = C_{\text{MB}}/C_{\text{T}}$ <sup>[8]</sup>,  $A_{\text{CC}} = C_{\text{M}}/C_{\text{T}}$ ,  $C_{\text{T}}$  为土壤全碳。碳素管理指数计算方法为:碳库指数(CPI) = 样品全碳(mg/g) ÷ 参照土壤全碳(mg/g);碳库活度(A) = 活性碳 ÷ 稳态碳;碳库活度指数(AI) = 样品碳库活度 ÷ 参照土壤碳库活度;碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数 × 碳库活度指数 × 100 = CPI × AI × 100。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同处理对不同形态碳素及碳素有效率的影响

表 2 可见,被研究的四种土壤中,土壤  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{A}}$ 、 $C_{\text{MB}}$ 、 $C_{\text{M}}$  及碳素有效率以水稻土 > 黄棕壤 > 红壤 > 潮土。土壤  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{A}}$  差异很大,分别为 5.21~25.8g/kg 和 0.46~4.67g/kg。碳素有效率从 0.011 变化到 0.190,相差几乎 20 倍。不同形态的碳素以  $C_{\text{A}} > C_{\text{MB}} > C_{\text{M}}$ 。碳素有效率以  $A_{\text{AC}} > A_{\text{BC}} > A_{\text{CC}}$ 。

不同处理对红壤全碳的影响为:处理 3 > 处理 6 > 处理 5 > 处理 4 > 处理 1 > CK,而对活性碳的影响则为:处理 6 > 处理 3 > 处理 5 > 处理 1 > 处理 4 > CK。与处理 1 比较,单施 NPK 矿质肥料,虽能提高土壤  $C_{\text{T}}$  含量,但不能提高  $C_{\text{A}}$ ,对土壤  $C_{\text{T}}$  的贡献主要是增加了土壤  $C_{\text{UA}}$ 。红壤  $C_{\text{MB}}$  和  $C_{\text{M}}$  受施肥影响表现为:处理 6 > 处理 3 > 处理 5 > 处理 4 > 处理 1 > CK。红壤碳素有效率以处理 6 最大,CK 最小。水稻土  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{A}}$ 、 $C_{\text{MB}}$ 、 $C_{\text{M}}$  明显高于其它土壤。最大值与最小值相比, $C_{\text{A}}$  相差 2.48g/kg,  $C_{\text{MB}}$  相差 744mg/kg,  $C_{\text{M}}$  相差 818mg/kg。在提高土壤  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{A}}$ 、 $C_{\text{MB}}$ 、 $C_{\text{M}}$ 、 $A_{\text{AC}}$ 、 $A_{\text{BC}}$  及  $A_{\text{CC}}$  方面,处理 6 最好,处理 3 次之,处理 5 第三,CK 最小。与处理 1 相比,处理 4 的  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{MB}}$ 、 $C_{\text{M}}$  上升,但  $C_{\text{A}}$ 、 $A_{\text{AC}}$ 、 $A_{\text{BC}}$ 、 $A_{\text{CC}}$  要比处理 1 低。黄棕壤  $C_{\text{A}}$  为 1.42~3.93g/kg,最大值与处理 1 相比,土壤  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{A}}$ 、 $C_{\text{MB}}$ 、 $C_{\text{M}}$  分别提高 34.8%、74.7%、68.5%、72.5%。而 CK 的上述指标分别下降 28.4%、37%、45%、56.5%。不同处理对黄棕壤碳素有效率的影响为:处理 6 > 处理 3 > 处理 5 > 处理 1 > 处理 4 > CK。

潮土  $C_{\text{A}}$  的最大值为最小值的 3 倍,不论是耕种 5 年,还是耕种 10 年的土壤,施肥对潮土  $C_{\text{A}}$  影响均为:厩肥 > 厩肥 + NPK > 参照土壤 > NPK > CK。厩肥、厩肥 + NPK 处理有利于  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{A}}$ 、 $C_{\text{MB}}$ 、 $C_{\text{M}}$ 、 $A_{\text{AC}}$ 、 $A_{\text{BC}}$ 、 $A_{\text{CC}}$  提高,单施 NPK 化学肥料仅提高  $C_{\text{T}}$ 、 $C_{\text{MB}}$ 、 $C_{\text{M}}$ 、 $A_{\text{BC}}$ 、 $A_{\text{CC}}$ ,

表 2 不同处理对土壤全碳、活性碳、微生物生物量碳、矿化碳及碳素有效率的影响

Table 2 The effect of different treatments on  $C_T$ ,  $C_A$ ,  $C_{MB}$ ,  $C_M$ ,  $A_{AC}$ ,  $A_{BC}$  and  $A_{CC}$ 

处理	全碳 Total C	活性碳 Active C	微生物量碳 Microbial biomass C	矿化碳 Minerali- zable C	有效率 A Availability of A	有效率 B Availability of B	有效率 C Availability of C
Treatment	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	$C_A/C_T$	$C_{MB}/C_T$	$C_M/C_T$
红 壤							
1	7.56 <sup>1)</sup>	1.05	286	188	0.139	0.038	0.025
2	6.22	0.62	224	121	0.099	0.036	0.019
3	8.94	1.45	341	226	0.162	0.038	0.025
4	7.99	0.94	291	195	0.118	0.036	0.024
5	8.43	1.19	316	235	0.141	0.037	0.028
6	8.75	1.51	398	253	0.173	0.045	0.029
黄 棕 壤							
1	15.5	2.25	578	411	0.145	0.037	0.027
2	11.1	1.42	318	179	0.128	0.029	0.016
3	19.2	3.2	874	578	0.167	0.046	0.030
4	16.4	2.15	598	417	0.131	0.036	0.025
5	18.3	2.73	814	523	0.149	0.045	0.028
6	20.9	3.93	974	709	0.188	0.047	0.034
水 稻 土							
1	21.8	3.28	1040	682	0.150	0.048	0.031
2	19.2	2.51	696	374	0.131	0.036	0.019
3	25.8	4.67	1398	1126	0.181	0.054	0.044
4	23.4	3.22	1048	684	0.138	0.045	0.029
5	24.9	4.18	1208	818	0.168	0.049	0.033
6	26.3	4.99	1440	1192	0.190	0.055	0.045
潮 土							
1	6.88	0.91	238	156	0.132	0.035	0.023
2	6.03	0.65	156	83	0.108	0.026	0.014
3	8.24	1.22	342	229	0.148	0.042	0.028
4	7.42	0.78	245	167	0.105	0.033	0.022
5	8.12	1.10	317	208	0.135	0.039	0.026
6	5.21	0.46	116.5	58	0.088	0.022	0.011
7	9.05	1.45	410	273	0.160	0.044	0.029
8	7.89	0.71	269	185	0.090	0.034	0.023
9	8.37	1.26	344	239	0.151	0.038	0.027

1) 为四次重复的平均值。红壤平均C.V.=4.35%, 黄棕壤平均C.V.=3.42%, 水稻土平均C.V.=7.85%, 潮土平均C.V.=5.66%。

而  $C_A$ 、 $A_{AC}$  下降。与参照土壤相比, 连续耕种 5 年, CK 每年的  $C_T$  下降 2.47%、 $C_A$  下降 5.71%、 $C_{MB}$  下降 6.89%、 $C_M$  下降 9.36%、碳素有效率平均下降 5.53%。而耕种 10 年, 不施肥处理上述指标每年分别下降  $C_T$  2.40%、 $C_A$  4.62%、 $C_{MB}$  5.11%、 $C_M$  6.28%、碳素有效率 3.94%。显然, 不施肥处理前 5 年上述指标下降快, 随着耕种年限延长, 土壤碳素各项指标变化逐渐减

慢。

## 2.2 不同处理对土壤碳库管理指数的影响

土壤  $C_{UA}$  受施肥影响(表 3)为:处理 3 > 处理 5 > 处理 4 > 处理 1 > CK, 与  $C_A$  受施肥影响表现不同。扣除耕作年限、肥料施用量等因素的影响,施肥对  $C_A$ 、 $A$ 、 $AI$ 、 $CPMI$  的影响表现为:处理 3 > 处理 5 > 处理 1 > 处理 4 > CK。

表 3 不同处理对土壤碳库管理指数的影响

Table 3 Effect of different treatments on C pool management index in soil

处理 Treatment	稳态碳 Unactive C (g/kg)	活性碳 Active C (g/kg)	碳库活度 Activity of C Pool	活度指数 Activity index	碳库指数 C pool index	碳库管理指数 C pool management index
红 壤						
1	6.51	1.05	0.161	1.00	1.00	100 cB
2	5.6	0.62	0.111	0.686	0.823	56.5 eC
3	7.49	1.45	0.194	1.200	1.183	141.9 aA
4	7.05	0.94	0.133	0.827	1.057	87.4 dB
5	7.24	1.19	0.164	1.019	1.115	113.6 bB
6	7.24	1.51	0.209	1.293	1.157	149.7 aA
黄 棕 壤						
1	13.25	2.25	0.170	1.00	1.00	100 dD
2	9.68	1.42	0.147	0.864	0.716	61.9 eE
3	16.0	3.2	0.200	1.178	1.239	145.9 bB
4	14.25	2.15	0.151	0.888	1.058	94.0 dD
5	15.57	2.73	0.175	1.033	1.181	121.9 cC
6	16.97	3.93	0.232	1.364	1.348	183.9 aA
水 稻 土						
1	18.52	3.28	0.177	1.00	1.00	100 dC
2	16.69	2.51	0.151	0.849	0.881	74.8 eD
3	21.13	4.67	0.221	1.248	1.183	147.7 bAB
4	20.18	3.22	0.160	0.901	1.073	96.7 dCD
5	20.72	4.18	0.202	1.139	1.142	130.1 cB
6	21.31	4.99	0.234	1.322	1.206	159.5 aA
潮 土						
1	5.97	0.91	0.152	1.00	1.00	100 eC
2	5.38	0.65	0.121	0.793	0.876	69.5 gDE
3	7.02	1.22	0.174	1.140	1.198	136.6 cB
4	6.64	0.78	0.117	0.771	1.078	83.1 fCD
5	7.02	1.10	0.157	1.033	1.180	122 dBC
6	4.75	0.46	0.104	0.681	0.757	48.2 hE
7	7.60	1.45	0.191	1.257	1.315	165 aA
8	7.18	0.71	0.099	0.649	1.147	74.4 gD
9	7.11	1.26	0.177	1.164	1.217	141.7 bAB

注:按邓肯氏新复极差检验法,同列中后附大、小字母分别为 0.01 和 0.05 水平上的显著性,字母相同为差异不显著,字母不同为差异显著。

红壤  $A$  值从 0.111 变化到 0.209, 施肥对  $A$  值的影响为: 处理 6 > 处理 3 > 处理 5 > 处理 1 > 处理 4 > CK。比较红壤  $C_{UA}$  与  $C_A$  可知, 处理 3 比处理 6 更利于  $C_{UA}$  的累积, 而处理 6 比处理 3 有利于  $C_A$  的增加, 处理 4 的 CPI 值比处理 1 高, 这与  $A$ 、AI、CPMI 变化不同。与处理 1 相比, 耕种 8 年的红壤碳库指数 (CPI) 处理 4、CK 分别下降 17%、31.4%, 而处理 6、3、5 分别增长 29.3%、20%、1.9%。施肥对红壤 CPMI 的影响与  $A$  值相同。

水稻土  $C_{UA}$ 、 $C_A$ 、 $A$ 、AI、CPI 及 CPMI 明显高于红壤, 这与水稻土淹水时间较长, 抑制了微生物对有机碳的分解有关。稻草肥对  $C_T$  的主要贡献在于  $C_A$  的累积, 而厩肥对  $C_T$  贡献主要是增加  $C_{UA}$  的含量。处理 4 对水稻土  $A$ 、AI、CPI 和 CPMI 的影响与红壤一致<sup>[12]</sup>。连续 8 年不施肥, 与处理 1 相比, 水稻土  $A$ 、AI、CPI 以及 CPMI 分别下降 14.7%、15.1%、12% 和 25.2%。

经过 8 年耕种, 与参照土壤相比, 黄棕壤 CPMI 在 CK 中下降 38.1%, 处理 4 中下降 6%, 比水稻土 CPMI 下降快, 而 CPMI 上升比水稻土慢。厩肥高量施用能明显提高土壤  $C_{UA}$ 、 $C_A$ 、AI, 处理 6 的 AI 为 1.364 比水稻土 1.322 还大。不同处理对黄棕壤 CPMI 的影响为: 处理 6 > 处理 3 > 处理 5 > 处理 1 > 处理 4 > CK; 而对 CPI 的影响为: 处理 6 > 处理 3 > 处理 5 > 处理 4 > 处理 1 > CK, 这说明 CPI 和 CPMI 对 NPK 矿质肥料的响应不同。绿肥和稻草肥比厩肥含有更多的易被微生物利用的物质, 纤维素、半纤维素和木质素较少, 故有利于  $C_A$  和 CPMI 的提高<sup>[13-15]</sup>。

潮土  $C_{UA}$  范围为 4.75~7.60g/kg,  $A$ 、AI、CPI 分别为: 0.099~0.191、0.649~1.257 和 0.757~1.359。与处理 1 相比, 连续耕种 5 年, 土壤碳库管理指数在 CK、处理 4 分别下降 30.5%、16.9%。而在处理 3、5 则上升 36.6% 和 15.1%; 耕种 10 年, 碳库管理指数在 CK、处理 4 分别下降 48.4%、25.6%, 而在处理 3、5 增长 78.5% 和 69.1%。施肥对  $A$ 、AI 的影响为: 处理 7 > 处理 9 > 处理 3 > 处理 1 > 处理 5 > 处理 2 > 处理 4 > 处理 6 > 处理 8。处理 4 和处理 8 的  $A$  值普遍低于处理 1。与处理 1 相比, 施肥 5 年, CK 的 CPMI 平均每年下降 6.1%, 施肥 10 年, CK 平均每年下降 4.84%。不同处理对潮土 CPMI 影响为: 处理 7 > 处理 9 > 处理 3 > 处理 5 > 处理 1 > 处理 4 > 处理 8 > 处理 2 > 处理 6。

### 2.3 碳素有效率、碳库管理指数与土壤理化性质的相关性

表 4 表明, 土壤  $C_T$  与  $C_A$ 、微生物量碳、氮、 $C_M$ 、全氮、有效氮和速效磷相关, 与速效钾不

表 4 碳素有效率、碳库管理指数与土壤理化性质的相关性

Table 4 The correlation among  $C_T$ ,  $A_{AC}$ ,  $A_{BC}$ ,  $A_{CC}$ , CPMI and physical, chemical properties in soil

项目	全碳	活性碳	微生物量碳	微生物量氮	矿化碳	全氮	有效氮	速效磷	速效钾
Item	Total C	Active C	Microbial biomass C	Microbial biomass N	Mineralizable C	Total nitrogen	Available nitrogen	Readily available P	Readily available K
	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
$C_T$	**	*	*	*	*	*	*	*	—
$A_{AC}$	*	**	**	**	**	*	**	**	*
$A_{BC}$	*	**	**	**	**	*	**	**	*
$A_{CC}$	*	**	**	**	**	*	**	**	*
CPMI	*	**	**	**	**	*	**	**	*

注: \*表示相关, \*\*表示极相关, —表示不相关。

相关。土壤  $A_{AC}$ 、 $A_{BC}$ 、 $A_{CC}$  和 CPMI 与土壤  $C_T$ 、全氮、速效钾相关,与土壤  $C_A$ 、微生物量碳、氮、 $C_M$ 、有效氮、速效磷极相关。这说明,CPMI、 $A_{AC}$ 、 $A_{BC}$  和  $A_{CC}$  与主要土壤理化因子的关系比  $C_T$  更密切,运用 CPMI 可以更好地反映出土壤养分及碳素的动态变化。

### 3 结 论

1. 长期施用有机肥或有机肥与 NPK 矿质肥料配施有利于土壤  $C_T$ 、 $C_A$ 、 $C_{MB}$ 、 $C_M$ 、 $A_{AC}$ 、 $A_{BC}$ 、 $A_{CC}$  及 CPMI 的提高。施用 NPK 矿质肥料虽能增加土壤  $C_T$ 、 $C_{MB}$  和  $C_M$ , 但不利于土壤  $C_A$  积累和 CPMI 的提高。NPK 矿质肥料对土壤  $C_T$  的贡献主要是提高了  $C_{UA}$  含量。
2. 绿肥和稻草肥比厩肥有利于  $C_A$ 、 $C_{MB}$ 、 $C_M$ 、 $A_{AC}$ 、 $A_{BC}$ 、 $A_{CC}$  和 CPMI 的提高。
3. 不同农田土壤  $C_T$ 、 $C_A$ 、 $C_{MB}$  和  $C_M$  以水稻土 > 黄棕壤 > 红壤 > 潮土。
4. 耕种年限对  $C_A$ 、 $C_{MB}$ 、 $C_M$ 、 $A_{AC}$ 、 $A_{BC}$ 、 $A_{CC}$  及 CPMI 的影响表现为初期变化较快,随着时间延长逐渐变慢。

致 谢 本文得到澳大利亚 Blair G J. 教授的大力支持,深表感谢!

### 参 考 文 献

1. 曹志洪, 朱永官. 苏南稻麦两熟制下土壤养分平衡与培肥的长期试验. 土壤, 1995, 27(2): 60~64
2. Lefroy R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic C fractions and  $^{13}C$  natural isotope abundance. Plant and Soil, 1993, 156:399~402
3. 张付申. 长期施肥条件下垆土和黄绵土有机质氧化稳态性研究. 土壤肥料, 1996, (6): 32~34
4. 袁可能. 有机矿质复合体研究 I. 土壤有机矿质复合体中腐殖质的氧化稳定性研究. 土壤学报, 1963, 11(3): 286~293
5. Blair G J, Lefroy R D B. Soil C fractions based on their degree of oxidation and the development of a C management index for agricultural systems. Aust. J. Agri. Res., 1995, 46:1459~1466
6. Loginow W W, Wisniewski S G, Ciescinska B. Fractionation of organic C based on susceptibility to oxidation. Polish J. Soil Sci., 1987, 20:47~52
7. Bradley R L, Fyles J W. A kinetic parameter describing soil available C and its relationship to rate increase in C mineralization. Soil Biol. Biochem., 1995, 27(2):167~172
8. Sparling G P. Ratio of microbial biomass C to soil organic C as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Aust. J. Soil Res., 1992, 30:195~207
9. Hassink J. Relationship between the amount and the activity of the microbial biomass in dutch grassland soils: Composition of the fumigation-incubation method and the substrate-induced respiration method. Soil Biol. Biochem., 1993, 25(3):530~538
10. 史瑞和. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1990. 18~83
11. Franzluebbers A J, Hons F M, Zuberer D A. Soil organic C, microbial biomass and mineralizable C and nitrogen in sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J., 1995, 59:460~466
12. 林心雄, 文启孝, 徐宁. 广州地区土壤中植物残体的分解速率. 土壤学报, 1985, 22(1):47~54
13. 林心雄, 程励励, 施书莲等. 绿肥和秸秆等在苏南地区土壤中的分解特征. 土壤学报, 1980, 17(4):319~327
14. Amelung W, Flach K W, Zech W. Climatic effects on soil organic matter composition in the Great Plains. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61(1):115~123

15. Biederbeck V O, Janzen H H. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in arid environment. *Soil Biol. Biochem.*, 1994, 26(10):1647~1656

## EFFECTS OF FERTILIZATION ON DIFFERENT CARBON FRACTIONS AND CARBON POOL MANAGEMENT INDEX IN SOILS

Shen Hong Cao Zhi-hong

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Xu Zhi-hong

(*Queensland Forestry Research Institute, Gympie, QLD 4570, Australia*)

### Summary

Effect of fertilization on active C ( $C_A$ ), microbial biomass C ( $C_{MB}$ ), mineralizable C ( $C_M$ ) and C pool management index (CPMI) in different soils were examined. Results indicated that among those studied soils, soil  $C_A$ ,  $C_{MB}$ ,  $C_M$  and CPMI were the highest in paddy soil, the second in yellow brown soil, the third in red soil and the lowest in Cao soil. Effects of different treatments on  $C_A$ , CPMI,  $C_{MB}$  and  $C_M$  were organic manure > organic manure + NPK > reference > NPK > CK, organic manure > organic manure + NPK > NPK > reference > CK respectively. In raising  $C_A$ ,  $C_{MB}$ ,  $C_M$  and CPMI, effects of different organic fertilizer types and application were rice straw, green manure better than farmyard manure, high application better than conventional application. Compared 5-y fertilization with 10-y fertilization, CPMI in Cao soil under organic fertilizer and organic fertilizer + NPK treatments increased, while CPMI decreased under NPK and CK treatment. Correlation analysis showed: CPMI was well related to total C, total N, microbial biomass C and N, available N, P and K in these soils and sensitive to agricultural measures, which indicated that it is practical to assess soil C pools under different management practices using CPMI.

**Key words** Active C, Microbial biomass C, Mineralizable C, C pool management index