

## 施用化肥对砂姜黑土碳库管理指数的影响

李玮<sup>1,2</sup>, 乔玉强<sup>1,2</sup>, 姜涛<sup>1,2</sup>, 陈欢<sup>1,2</sup>, 杜世州<sup>1,2</sup>, 赵竹<sup>1,2</sup>, 曹承富<sup>1,2\*</sup>

1. 安徽省农业科学院作物研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 安徽省农作物品质改良重点实验室, 安徽 合肥 230031

**摘要:** 针对安徽省砂姜黑土的不良属性, 在安徽蒙城砂姜黑土上进行了 4 年的施肥定位试验, 施肥方式为年施氮量 (以 N 计) 0、360、450、540、630、720 kg·hm<sup>-2</sup>, 玉米季占 55%, 通过研究连续施肥措施下砂姜黑土耕层土壤活性有机质组分的变化特征, 分析了单施化学氮肥对土壤有机质组分及碳库管理指数的影响。结果表明: 施用化学氮肥有利于提高土壤总有机质质量分数和活性有机质质量分数, 变化幅度分别为 17.49~19.46、3.10~3.52 g·kg<sup>-1</sup>, 化肥施用水平之间差异不显著, 相比不施肥, 施肥土壤的总有机质质量分数增加 1.53~3.53 g·kg<sup>-1</sup>、活性有机质质量分数增加 0.10~0.52 g·kg<sup>-1</sup>、稳定态有机质增加 1.02~4.30 g·kg<sup>-1</sup>。处理间高活性有机质质量分数变化范围为 0.46~0.62 g·kg<sup>-1</sup>, 施用化肥后降低, 高量氮肥与不施肥处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。中活性有机质质量分数在 2.21~3.25 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 且与氮肥施用水平有关, 年施氮量 (以 N 计) 高于 540 kg·hm<sup>-2</sup> 时其值增加, 但各施用水平间无显著差异 ( $P>0.05$ )。施氮对 CMI 的影响不显著, 土壤总有机质增加的有机质组分主要为稳定性有机质。施氮处理的玉米籽粒产量明显高于不施氮处理, 年施氮 (以 N 计) 720 kg·hm<sup>-2</sup> 的玉米籽粒产量最高, 达 11 137.90 kg·hm<sup>-2</sup>。相关性分析结果显示, 3 种活性有机质之间, 活性有机质和高活性有机质相关性最高, 关系最为密切; 碳库管理指数与活性有机质呈极显著正相关, 相关系数为 0.910; 总有机质含量与活性有机质含量显著正相关 ( $P<0.05$ ), 与碳库管理指数无显著相关性 ( $P>0.05$ ); 玉米籽粒产量与总有机质、活性有机质极显著正相关 ( $P<0.01$ ), 与碳库管理指数显著相关 ( $P<0.05$ )。由此可知, 化学氮肥可促进砂姜黑土耕层土壤总有机质和活性有机质的提高, 且二者均能够反映砂姜黑土施用化肥后的肥力变化情况; 提高砂姜黑土总有机质的有机质组分主要是稳定态有机质; 要提高玉米产量需要较高的氮肥用量。

**关键词:** 砂姜黑土; 化肥; 活性有机质; 碳库管理指数

中图分类号: S156.93

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2014) 01-0058-06

**引用格式:** 李玮, 乔玉强, 姜涛, 陈欢, 杜世州, 赵竹, 曹承富. 施用化肥对砂姜黑土碳库管理指数的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 58-63.

LI Wei, QIAO Yuqiang, JIANG Tao, CHEN Huan, DU Shizhou, ZHAO Zhu, CAO Chengfu. Study of the Carbon Management Index in Lime Concretion Black Soil under Conditions of N Fertilizer Application [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(1): 58-63.

农业生产措施(如土壤耕作管理、化肥的施用、植物残体或有机物料的还田等)直接或者间接的调控土壤有机质的输入, 一定程度上影响土壤有机质的累积和矿化, 易分解、矿化的活性碳部分是引起土壤碳库最初变化的有机质组分(Amisk et al, 2009)。尽管这部分碳素占全碳的比例很小, 但它们对土壤碳素的转化很重要, 而且与土壤生产力密切相关(Dalal 和 Mayer, 1986; Blair et al, 1995)。Lefroy 等研究发现, 土壤有机质能被一定浓度的 KMnO<sub>4</sub> 氧化, 其氧化的有机质在种植作物时变化较大, 可作为活性有机质, 不能被氧化的称为非活性有机碳, 并提出土壤碳库管理指数(CMI)的概念(Lefroy et al, 1993)。CMI 因结合了土壤碳库指标和土壤碳库活度指标, 既反映外界管理措施对土壤有机质总量的影响, 也反映了土壤有机质组分的变化情况, CMI 上升表明农业措施对土壤肥

力有促进作用, 反之则表明抑制土壤肥力的提高(徐明岗等, 2006)。目前, 在土壤活性有机质和碳库管理指数方面, 国外已经进行了大量研究(Nayak et al, 2012; Vieira et al, 2007), 而国内近才开始相关研究, 且主要侧重于壤土、灰漠土、黑土、红壤、潮土等土壤类型在不同耕作制度、秸秆还田、施肥制度下的土壤活性有机质和碳库管理指数的变化规律(陈鲜妮等, 2012; 李琳等, 2006; 刘红梅等, 2013; 陈云峰等, 2013; Liang et al, 2012), 关于砂姜黑土 CMI 的研究却鲜见报道。为此, 本研究通过 4 年大田定位试验, 研究小麦-玉米轮作条件下化学氮肥施用水平对砂姜黑土农田土壤活性有机质组分和 CMI 的影响特征, 分析施肥对砂姜黑土土壤碳库质量及玉米产量的影响, 旨在为该地施肥制度的完善和土壤碳库的循环理论提供理论依据。

基金项目: 国家科技支撑计划 (2012BAD04B09; 2011BAD16B06; 2013BAD07B08); 安徽省农业科学院院长青年基金 (13B0217)

作者简介: 李玮 (1980 年生), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事土壤物理及作物栽培生理生态方面的研究。E-mail: jtlw2007@163.com

收稿日期: 2013-07-31

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2008—2012 年度在安徽省蒙城县农业示范场进行。试验地土质为砂姜黑土, 0~20 cm 土层养分含量为: 土壤有机质 14.24 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮质量分数 0.99 g·kg<sup>-1</sup>, 碱解氮 57.84 mg·kg<sup>-1</sup>, 全磷质量分数 0.67 g·kg<sup>-1</sup>, 有效磷 21.57 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 197.46 mg·kg<sup>-1</sup>。供试小麦品种为济麦 22, 玉米品种为郑单 958。

1.2 田间试验设计

试验设 6 个氮肥处理, 年施氮量(以 N 计)为 0、360、450、540、630、720 kg·hm<sup>-2</sup>, 分别用 N0、N1、N2、N3、N4、N5 表示; 磷、钾肥年施用量(以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计)分别为 180、180 kg·hm<sup>-2</sup>, 除 N0(对照)之外, 其余氮肥处理均施用磷钾肥, 且施用量一致。各处理氮、磷、钾肥小麦季施用量占年施用总量的 45%, 玉米季 55%。小麦季氮肥基追比为 55:45, 追肥时期为拔节期, 磷钾肥在小麦播种时一次性基施; 玉米季氮肥基追比为 45:55, 追肥时期为大喇叭口期, 磷钾肥在玉米播种时一次性基施。小麦 10 月中旬播种, 玉米 6 月中旬播种。小区面积 21.6 m<sup>2</sup>, 随机排列, 3 次重复。

1.3 测定项目与方法

2012 年玉米收获后, 取 0~20 cm 深的土样, 每个样品均为多点采集混合而成, 然后用四分法取出足够的样品, 风干, 过筛备用。

土壤总有机质测定。土壤总有机碳(TOC): 称取过 0.149 mm 筛的风干土 0.2000 g, 采用高温外热重铬酸钾氧化—容量法测定(鲁如坤, 2000)。土壤活性有机碳(LOC): 称取过 0.25 mm 筛的风干土 1.50 g, 采用 KMnO<sub>4</sub> 氧化法测定, 高、中和活性有机碳采用的 KMnO<sub>4</sub> 浓度分别为 33、167 和 333 mmol·L<sup>-1</sup>(Blair et al, 1995)。本研究土壤碳库管理指数计算采用 Blair 等(1995)提出的方法, 选取不施氮处理为参考土壤, 具体计算如下:

碳库指数(CPI)=样品全碳质量分数(g·kg<sup>-1</sup>)/

参考土壤全碳质量分数(g·kg<sup>-1</sup>)

碳库活度(A)=活性碳含量/非活性碳含量

碳库活度指数(AI)= 样品碳库活度/参考土壤碳库活度

碳库管理指数(CMI)=碳库指数×碳库活度指数×100=CPI×AI×100

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 16.0 和 Excel 2003 软件进行处理和作图。单因素方差分析各氮肥处理之间总有机质及其活性有机质不同组分(高活性有机质、中活性有机质、活性有机质), 多重比较采用最小显著差异法(LSD, Least significant difference)。

2 结果与分析

2.1 施肥对砂姜黑土活性有机质和 CMI 的影响

砂姜黑土活性有机质及 CMI 受施肥影响见表 1 所示。与对照土壤相比, 施肥连续耕作总有机质和活性有机质含量均呈上升趋势, 但土壤活性有机质在总有机质中所占比例基本不变。施化肥的土壤, 总有机质和活性有机质含量随施氮量增加而增加, 但是, 处理间没有显著差异(P>0.05); 相比不施肥, 施肥土壤的活性有机质质量分数增加 0.10~0.52 g·kg<sup>-1</sup>, 稳定态有机质增加 1.02~4.30 g·kg<sup>-1</sup>; 各处理间 CMI 变化不明显, 部分施肥处理的 CMI 低于不施肥处理, 表明施化肥的土壤总有机质含量升高主要是其提高了稳定态有机质的含量。该结果与张付申提出的在垆土和黄绵土中(张付申, 1996)、徐明岗提出的在红壤中(徐明岗等, 2006), 单施化肥对土壤易氧化有机质和活性有机质作用不大结论基本一致。

2.2 施肥对砂姜黑土中活性有机质含量和 CMI 的影响

中活性有机质含量和 CMI 见表 2 所示。由表 2 可知, 与活性有机质相比, 中活性有机质含量相对较低, 其质量分数在 2.21~3.25 g·kg<sup>-1</sup> 之间。不施肥和施化肥土壤的中活性有机质含量没有显著差异(P>0.05), 但低量氮肥有降低土壤中活性有机质含

表 1 施肥后砂姜黑土的活性有机质含量和 CMI  
Table 1 Effects of N fertilizer application on labile organic matter and CMI

处理	w(总有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(活性有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(稳态有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	碳库指数	碳库活度指数	碳库管理指数/%
N0	15.96	3.00 a	10.78	1.00	1.00	100.04 a
N1	18.49	3.14 a	13.08	1.16	0.88	101.56 a
N2	17.49	3.30 a	11.80	1.10	1.06	115.17 a
N3	18.42	3.10 a	15.08	1.28	0.75	95.33 a
N4	19.49	3.52 a	13.42	1.22	1.00	119.45 a
N5	18.76	3.39 a	12.92	1.18	0.95	110.97 a

表中数据为 3 次重复的平均值。同一列数据后不同字母表示不同处理间差异显著(P<0.05), 相同字母表示差异不显著(P>0.05, LSR 法检验)。下同

表 2 施肥后砂姜黑土的中活性有机质含量和 CMI  
Table 2 Effects of N fertilizer application on medium labile organic matter and CMI

处理	w(总有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(中活性有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(稳态有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	碳库指数	碳库活度指数	碳库管理指数/%
N0	15.96	2.76 a	11.20	1.00	0.89	89.18 a
N1	18.49	2.21 a	14.68	1.16	0.54	62.62 a
N2	17.49	2.19 a	13.71	1.10	0.57	62.93 a
N3	18.42	2.81 a	15.57	1.28	0.65	83.91 a
N4	19.49	2.53 a	15.12	1.22	0.60	73.59 a
N5	18.76	3.25 a	13.15	1.09	0.90	106.21 a

量的趋势。中活性有机质对应的稳定态有机质，高氮处理低于不施肥的对照处理，与活性有机质含量变化规律一致，但 CMI 不施肥土壤高于 N0、N1、N2、N3 和 N4 处理，低于 N5 处理，各处理间 CMI 没有显著差异 ( $P>0.05$ )。可见，施用化学氮肥对提高砂姜黑土总有机质有作用，但并不能增加土壤中活性有机质。

2.3 施肥对砂姜黑土高活性有机质和 CMI 的影响  
由表 3 可知，高活性有机质质量分数为 0.46~0.62 g·kg<sup>-1</sup>，低于中活性有机质质量分数。相比对照处理，施肥后土壤的高活性有机质含量有所下降，其中 N4 和 N5 处理与 N0 的差异达显著水平 ( $P<0.05$ )，N5 处理下降幅度最大，施肥耕作 4 年其下降了 25.81%。CMI 变化规律与高活性有机质含量一致，施肥后 CMI 下降，相比其他施肥处理，N5 处理的 CMI 下降幅度最高，为 28.23%，处理间没有达到显著差异 ( $P>0.05$ )。这说明砂姜黑土施

化肥后结构简单的高活性有机质含量下降。

2.4 活性有机质组分与总有机质和产量的相关性  
表 4 表明了砂姜黑土 3 种不同程度的活性有机质、总有机质、碳库管理指数 (CMI) 和玉米籽粒产量的相关分析。结果表明，3 种活性有机质之间的相关性不同，活性有机质与高活性有机质极显著负相关，相关系数为 -0.929；中活性有机质与高活性有机质、活性有机质以及 CMI 之间的相关关系均不显著。可见，3 种活性有机质之间，活性有机质和高活性有机质的关系最为密切。CMI 与各种活性有机质的相关性分别为：高活性有机质 -0.751，中活性有机质 -0.264，活性有机质 0.910，其中，CMI 与活性有机质极显著正相关。

总有机质与 3 种活性有机质及 CMI 的相关性不同，其中，与活性有机质和高活性有机质的相关系数较高，分别为 0.723 和 -0.838，与活性有机质的相关性为显著正相关，而与高活性有机质呈显著负相

表 3 施肥后砂姜黑土的高活性有机质含量和 CMI  
Table 3 Effects of N fertilizer application on high labile organic matter and CMI

处理	w(总有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(高活性有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	w(稳态有机质)/(g·kg <sup>-1</sup> )	碳库指数	碳库活度指数	碳库管理指数/%
N0	15.96	0.62 a	14.89	1.00	1.00	99.95 a
N1	18.49	0.53 ab	17.57	1.16	0.72	83.44 a
N2	17.49	0.52 ab	16.59	1.10	0.74	80.72 a
N3	18.42	0.56 a	19.45	1.28	0.68	87.01 a
N4	19.49	0.47 b	18.67	1.22	0.59	71.84 a
N5	18.76	0.46 b	17.95	1.18	0.61	71.73 a

表 4 活性有机质组分与总有机质和玉米产量的相关性分析  
Table 4 Correlation analysis between labile organic matter fractions and total organic matter and maize yields

项目	产量	总有机质	活性有机质	中活性有机质	高活性有机质	碳库管理指数
产量	1	0.898 *	0.780 **	0.321	-0.952 **	0.524 *
总有机质	0.898 *	1	0.723 *	0.102	-0.838 *	0.409
活性有机质	0.780 **	0.723 *	1	-0.04	-0.929 **	0.910 *
中活性有机质	0.321	0.102	-0.04	1	-0.192	-0.264
高活性有机质	-0.952 **	-0.838 *	-0.929 **	-0.192	1	-0.751
碳库管理指数	0.524 *	0.409	0.910 *	-0.264	-0.751	1

\*\*表示在 0.01 水平上相关性显著，\*表示在 0.05 水平上相关性显著

关;与中活性有机质的相关系数为 0.102,没有显著相关性。

表 4 显示,玉米产量与总有机质、活性有机质极显著正相关,与 CMI 显著相关,相关系数分别为 0.898、0.780 和 0.524;与高活性有机质极显著负相关,相关系数为-0.952,而与中活性有机质无显著相关性,说明总有机质、活性有机质和 CMI 能准确反映砂姜黑土土壤肥力和土壤质量的变化,可以作为描述土壤质量和评价土壤管理的良好指标。

## 2.5 施肥对玉米产量的影响

由图 1 可知,施氮处理的玉米籽粒产量明显高于不施氮处理。各处理间,N5 处理的玉米籽粒产量最高,并且与 N0、N2 和 N3 处理的差异显著( $P<0.05$ )。可见,砂姜黑土要提高玉米产量需要较高的氮肥用量。

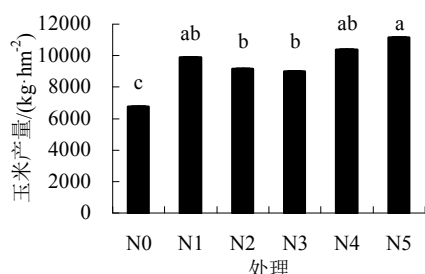


图 1 施肥对砂姜黑土玉米籽粒产量的影响

Fig.1 Effect of N fertilizer application on maize yields in lime concretion black soil

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

Blair 等 (1995) 认为,人为管理措施对农业可持续发展系统中土壤有机质的影响主要发生在活性有机质部分。已有研究者等对黑油土、黄绵土、红壤、灰漠土、垆土、潮土、褐土、黑土活性有机质、总有机质和有机质氧化稳定性的测定结果表明,长期施用化学氮肥增加了土壤总有机质含量,但增加幅度不高,对土壤活性有机质含量影响不大,提高了稳定性有机质含量(徐明岗等, 2006; 张付申, 1996; 周卫军等, 2004)。目前,施用化学氮肥对土壤有机质的作用也有与上述相反的结论,认为长期化学氮肥施用可降低有机质含量或者与原来保持平衡(Kong et al, 2005; 王旭东等, 2000; 乔发云等, 2008)。究其原因,有研究认为施用化学氮肥后,能够促进作物的生长,增加地下部分的生物量和作物根茬等残留物,即向土壤中增加了有机碳的输入而提高土壤有机质含量(孟磊等, 2005; Mandal et al, 2007; 尹云峰和蔡祖聪, 2006; 王莲莲等, 2013);另有研究表明,由于单施化学氮肥有利于根

系的增加,但同时降低了土壤碳氮比,加速了土壤有机质的分解和矿化,不仅消耗了输入土壤的外源有机碳,而且还引起原有有机碳的消耗,不利于土壤有机质的累积(徐阳春等, 2002; 刘骅等, 2010; Powlson et al, 1987)。本研究就化学氮肥施用量对砂姜黑土活性有机质的影响做了探讨,砂姜黑土上经过 4 年的小麦-玉米轮作后,化学氮肥施用提高了总有机质含量和活性有机质含量,但不同施氮水平间差异不显著;中活性有机质含量在低氮时下降,而高氮时呈增加趋势;高活性有机质含量在施用化学氮肥后明显下降;施化肥均提高了稳定态有机质含量,与胡诚等 (2010)、曾骏等 (2008) 等的研究结果类似。

本研究中,不同化肥用量单施的碳库管理指数(CMI)与活性有机质组分有关系,活性有机质对应的 CMI 与不施肥相比略有增加,而中、高活性有机质对应的 CMI 降低,这与早期在潮土上的有关研究稍有不同。沈红等和徐明岗等的研究结果显示,单施化肥(NPK)处理土壤碳库管理指数显著高于不施肥处理,但低于初期的参考土壤,造成这些结果的差异可能与试验初始的土壤有机质含量、施肥水平和施肥持续时间长短不同等因素有关(沈宏和曹志洪, 2000; 徐明岗等, 2006)。该研究相关性分析表明,玉米籽粒产量与总有机质含量和活性有机质含量表现为显著、极显著正相关,而与中活性有机质和土壤碳库管理指数无相关性,与徐明岗等 (2006) 在红壤上对小麦-玉米轮作系统的作物产量与中活性有机质和活性有机质呈显著相关性、与总有机质含量没有显著相关性的研究结果不尽一致,这可能与土壤类型差异、土壤有机质水平等有关,仍需进一步作比较研究。综上所述,施用化学氮肥条件下砂姜黑土活性有机质与总有机质含量能够反映该类型土壤的综合肥力情况。

### 3.2 结论

通过对 4 年化学氮肥处理下砂姜黑土耕层土壤的土壤总有机质和活性有机质以及碳库管理指数的研究,得出了以下结论。

1) 施用化学氮肥可增加砂姜黑土耕层土壤有机质、活性有机质的含量,提高总有机质的有机质组分主要是稳定态有机质。

2) 化学氮肥施用降低了高活性有机质含量,但中活性有机质含量与氮肥施用水平有关,对碳库管理指数的影响不显著。

3) 施氮可显著提高玉米产量,年施氮(以 N 计) 720 kg·hm<sup>-2</sup> 的玉米籽粒产量最高,达 11 137.90 kg·hm<sup>-2</sup>;玉米籽粒产量与总有机质、活性有机质以及碳库管理指数均存在相关关系。

4) 活性有机质和总有机质含量能够反映砂姜黑土施用化肥后的肥力变化情况, 砂姜黑土要提高玉米产量需要较高的氮肥用量。

#### 参考文献:

- AMI S K, LAUREN J G, DUXBURY J M, et al. 2009. Soil organic carbon and nitrogen stocks in Nepal long-term soil fertility experiments [J]. *Soil and Tillage Research*, 106(1): 95-103.
- BLAIR G J, LEFROY R D, LEANNE L. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. *Crop and Pasture Science*, 46(7): 1459-1466.
- DALAL R C, MAYER R J. 1986. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density functions [J]. *Soil Research*, 24(2): 301-309.
- KONG A Y, SIX J, BRYANT D C, et al. 2005. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4): 1078-1085.
- LEFROY R D, BLAIR G J, STRONG W M. 1993. Plant Nutrition—from Genetic Engineering to Field Practice [M]. German: Springer:551-554.
- LIANG Q, CHEN H Q, GONG Y S, et al. 2012. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North China Plain[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 92(1): 21-33.
- MANDAL A, PATRA A K, SINGH D, et al. 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages [J]. *Bioresource Technology*, 98(18): 3585-3592.
- NAYAK A, GANGWAR B, SHUKLA A K, et al. 2012. Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice-wheat system in Indo Gangetic Plains of India [J]. *Field Crops Research*, 127: 129-139.
- POWLSON D S, PROOKES P C, CHRISTENSEN B T. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(2): 159-164.
- VIEIRA F C B, BAYER C, ZANATTA J A, et al. 2007. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems[J]. *Soil and Tillage Research*, 96(1/2): 195-204.
- 曾骏, 郭天文, 包兴国, 等. 2008. 长期施肥对土壤有机碳和无机碳的影响[J]. *中国土壤与肥料*, (2): 11-14.
- 陈鲜妮, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 2012. 长期秸秆还田对赭土耕层土壤有机碳库的影响[J]. *自然资源学报*, 27(1): 25-32.
- 陈云峰, 韩雪梅, 胡诚, 等. 2013. 长期施肥对黄棕壤固碳速率及有机碳组分影响[J]. *生态环境学报*, 22(2): 269-275.
- 胡诚, 乔严, 李双来, 等. 2010. 长期不同施肥方式下土壤有机碳的垂直分布及碳储量[J]. *中国生态农业学报*, 18(4): 689-692.
- 李琳, 李素娟, 张海林, 等. 2006. 保护性耕作下土壤碳库管理指数的研究[J]. *水土保持学报*, 20(3): 106-109.
- 刘红梅, 姬艳艳, 张贵龙, 等. 2013. 不同耕作方式对玉米田土壤有机碳含量的影响[J]. *生态环境学报*, 22(3): 406-410.
- 刘骅, 佟小刚, 许咏梅, 等. 2010. 长期施肥下灰漠土有机碳组分含量及其演变特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 16(4): 794-800.
- 鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社: 107-108.
- 孟磊, 顶维新, 蔡祖聪, 等. 2005. 长期定量施肥对土壤有机碳储量和土壤呼吸影响[J]. *地球科学进展*, 20(6): 687-692.
- 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 2008. 长期施肥条件下黑土有机碳和氮的动态变化[J]. *土壤通报*, 39(3): 545-548.
- 沈宏, 曹志洪. 2000. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究[J]. *生态学报*, 20(4): 663-668.
- 王莲莲, 张树兰, 杨学云. 2013. 长期不同施肥和土地利用方式对楼土耕层碳储的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 19(2): 404-412.
- 王旭东, 张一平, 吕家珑, 等. 2000. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响[J]. *中国农业科学*, 33(2): 75-81.
- 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 2006. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 12(4): 459-465.
- 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 2006. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化[J]. *土壤学报*, 43(5): 723-729.
- 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 2002. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. *土壤学报*, 39(1): 89-96.
- 尹云锋, 蔡祖聪. 2006. 不同施肥措施对潮土有机碳平衡及固碳潜力的影响[J]. *土壤*, 38(6): 745-749.
- 张付申. 1996. 不同施肥处理对壤土和黄绵土有机质氧化稳定性的影响[J]. *河南农业大学学报*, 30(1): 80-84.
- 周卫军, 王凯荣, 刘鑫. 2004. 有机物循环对红壤稻田土壤N矿化的影响[J]. *生态学报*, 23(1): 39-43.

## Study of the Carbon Management Index in Lime Concretion Black Soil under Conditions of N Fertilizer Application

LI Wei<sup>1,2</sup>, QIAO Yuqiang<sup>1,2</sup>, JIANG Tao<sup>1,2</sup>, CHEN Huan<sup>1,2</sup>, DU Shizhou<sup>1,2</sup>, ZHAO Zhu<sup>1,2</sup>, CAO Chengfu<sup>1,2\*</sup>

1. Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, 230031, China;

2. Anhui Key Laboratory of improved varieties of crops; Hefei, 230031, China

**Abstract:** To analyze the negative properties of lime concretion black soil, an experiment using six different application concentrations of N fertilizer of 0, 360, 450, 540, 630, 720 kg N hm<sup>-2</sup> was conducted over four years in Mengcheng City, China. The effects of the N fertilizer application rates on soil organic matter fraction and the carbon management index (CMI) in lime concretion

black soils were systematically studied using the data obtained at this test location and through analyzing the change in soil organic matter fraction and CMI. The results showed that the application of N fertilizer increased the total organic matter (TOM) and labile organic matter (LOM). The ranges of TOM and LOM were 17.49~19.46 and 3.10~3.52 g·kg<sup>-1</sup>, respectively, and the increased values of TOM, LOM and non-labile organic matter (NLOM) compared with no fertilizer treatment were between 1.53~3.53, 0.10~0.52 and 1.02~4.30 g·kg<sup>-1</sup>, but had no significant differences among the rates of N application. The range of change of the high labile organic matter (HLOM) was between 0.46~0.62 g·kg<sup>-1</sup>, had a decreasing trend with increasing N fertilizer application, and showed significant differences between the high N fertilizer application rate and no fertilizer application ( $P<0.05$ ). However, the medium labile organic matter (MLOM) was comparatively low, and was affected by the nitrogen application rates. Its value increased when N was greater than 540 kg N·hm<sup>-2</sup>, which was a critical value of N fertilizer application rate. However, there were no significant differences between different N fertilizer treatment amounts. of all the treatments, soil NLOM could be advanced to cause an increase in total organic matter, with CMI not affected by the N fertilizer application rate. Maize yields from application of N fertilizer treatments were clearly higher than no fertilizer treatment conditions with the highest yield of 11 137.90 kg·hm<sup>-2</sup> for 720 kg N·hm<sup>-2</sup> N fertilizer application rate. Correlation analysis showed the relationship between LOM and HLOM was the most significant, having the highest relevance. Carbon management index was significantly related to LOM ( $P<0.01$ ), with a correlation coefficient of 0.910\*\*. There was a significant positive correlation between TOM and LOM ( $P<0.05$ ), and no significant difference between TOM and CMI ( $P>0.05$ ). The maize grain yield was very significantly correlated with TOM and LOM ( $P<0.01$ ), with no correlation with CMI ( $P>0.05$ ). Therefore, the addition of chemical fertilizer can increase the total organic matter in lime concretion black soil, mainly due to increases in stable organic matter, and labile organic matter, thereby changing the fertility in these areas.

**Key words:** lime concretion black soil; nitrogen management; labile organic matter; carbon management index