

氮肥用量和秸秆根茬碳投入对黄淮海平原 典型农田土壤有机质积累的影响

王文静, 魏 静*, 马文奇, 杨玉荣, 郭彩娟

(河北农业大学资源与环境学院, 保定 071001)

摘要: 土壤有机质与粮食安全和气候变化等重大问题密切相关, 也是目前国内外研究热点。通过分析黄淮海平原 10 个小麦玉米长期定位试验资料, 在不同施氮量下建立土壤有机质积累与碳投入的数学模型, 探讨了土壤有机质积累与碳氮投入的关系。结果表明: 土壤有机质积累与碳投入的关系受氮肥用量的影响显著, 无论低量施氮(长期定位试验中的常规施肥量, 化肥氮量 $\leq 330 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) 还是高量施氮(长期定位试验中的高量施肥量, 化肥氮量 $> 330 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), 秸秆根茬碳还田量与土壤有机质变化量之间均呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$); 利用土壤有机质积累与碳投入的数学模型计算的维持土壤有机质平衡的碳投入量(MSC), 高量施氮时为 $7254 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 低量施氮为 $1297 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 前者是后者的 5.6 倍。因此, 大量施用氮肥降低了投入碳的积累, 不利于土壤有机质的提升。

关键词: 氮肥施用; 秸秆和根茬输入; 土壤有机质; 黄淮海平原

Effect of nitrogen amendment and straw-stubble input on accumulation of soil organic matter in typical farmlands of Huang-Huai-Hai Plain

WANG Wenjing, WEI Jing*, MA Wenqi, YANG Yurong, GUO Caijuan

College of Resources and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

Abstract: Soil organic matter plays a crucial role in soil fertility, environmental protection and sustainable development of agriculture. Inventory of soil organic carbon is necessary for the development of strategic policies regarding to the global agricultural production and environmental change. Carbon sequestration is very important not only to improve soil quality and increase economic crop production, but also to increase soil carbon storage for carbon trading and mitigating CO_2 emissions from the soil profile. Much attention has been paid to global carbon cycle because of the emergence of a series of environmental problems such as the increase in atmospheric CO_2 concentration and global warming. More than twice as much carbon is held in soils as investigation, and changes in soil carbon content can have large effects on the global carbon budget in the atmosphere. Thus, increasing soil organic matter content is of great importance for the sustainable development in China and the entire world.

Various management practices on agriculture land can have an impact on soil carbon content. Agricultural practices that affect soil carbon include tillage system, cropping system, N fertilization, and many others. Agricultural management practices such as tillage, rotation and fertilization influence soil organic matter dynamics after long term cultivation to a large extent. Nitrogen application can have a significant effect on soil organic carbon pools and plant biomass production, but it is not convincingly clarified whether nitrogen fertilizers increase or decrease soil organic matter at certain agricultural conditions. The objective of this paper was to explore the relationship between carbon-nitrogen application and the accumulation of soil organic carbon. The experimental data were mainly obtained from in ten long-term fertilization trials at

基金项目: 科技部支撑项目(2006BAD05B04); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB118608); 农业部公益性行业专项(200803030)资助

收稿日期: 2009-11-15; 修订日期: 2010-03-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weijing_199@163.com

different locations. This paper evaluated the change of soil organic matter in relation to input of straw-stubble organic carbon and nitrogen amendment. All long-term trials were located in an important grain production area of China, the Huanghuaihai Plain, and the duration of the trials varied between 5 and 15 years.

The results have shown that the relationship between the accumulation of soil organic matter and straw-stubble amendment was significantly affected by nitrogen fertilizer rate. Both HNPK (fertilizer nitrogen rate $> 330 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) and NPK (fertilizer nitrogen rate $\leq 330 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$) have influenced the relationship between the amount of straw-stubble amendment and the change of SOM significantly ($P < 0.01$). When the carbon of straw-stubble amendment was the same, the annual average of soil organic matter accumulation in HNPK treatment was significantly smaller than in NPK treatment. When fertilizer nitrogen use was higher than $330 \text{ kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ (HNPK), the amount of straw-stubble amendment necessary to maintain soil organic carbon (MSC) was $7254 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, while it was $1297 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ in the NPK treatment. The former was 5.6 times more than the latter. In summary, overuse of nitrogen fertilizer largely decreased the net accumulation of soil organic carbon and had negative impact on improvement of soil organic matter.

Key Words: nitrogen amendment; straw and stubble input; soil organic matter; Huanghuaihai Plain

土壤有机质不但是土壤肥力的重要指标,也与全球气候变化等环境问题有密切关系^[1-4]。土壤有机质含量是否增加,一方面取决于投入有机碳的数量,另一方面还与各种栽培管理技术相关。Johnson^[4]研究指出若要维持土壤有机质平衡,每年至少要向土壤投入一定数量的外源碳,这个值定义为 MSC(maintain soil organic carbon);氮肥施用作为重要的管理技术,对耕层土壤(0—20cm) SOC(soil organic carbon)影响显著,因此其与土壤有机碳积累的关系受到人们广泛关注^[5-6]。施用氮肥首先增加了作物产量,进而增加秸秆和根茬量,有助于提高 SOC^[1-2,7];其次能够减小秸秆根茬的 C/N,加快其分解,有助于形成腐殖质^[8]。但氮肥的大量施用,也加速了土壤中以碳素为原料的非自养微生物的活性,加剧了 SOC 的消耗,特别在高量施用氮肥下,土壤有机碳的 SOC 的损失量要大于常量氮肥施用下 SOC 的损失,结果土壤有机质没有得到积累^[3,9]。然而在以前研究中,不同氮肥施用量情况下,为提高土壤有机质含量,适宜投入的秸秆根茬量并未阐明。

提高土壤有机质含量一直是我国农业生产的重要目标,我国作为氮肥用量大国,探明碳氮投入与土壤有机质积累的关系尤为重要。为此,本文以我国重要的粮食基地——黄淮海冬小麦-夏玉米生产体系为对象,利用 10 个 5—15a 不等的长期肥料定位试验资料,分析黄淮海平原碳氮投入与土壤有机质积累之间的关系,探讨维持土壤有机质平衡的外源碳最低需要量(MSC),从而为提升黄淮海平原土壤有机质含量提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源和试验背景

本研究数据来源于黄淮海平原,特别是北京、河北、河南和山东 4 个省市 10 个小麦玉米长期定位试验资料。

长期定位试验点均处于黄淮海平原,即中国耕作制度区划中的黄淮海平原丘陵水浇地二熟旱地二熟一熟区,是我国主要的农区之一。该区属暖温带半湿润-湿润季风气候,年平均气温 $8-15^{\circ}\text{C}$,最冷 $-7-2^{\circ}\text{C}$, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 $4200-5500^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $3600-4800^{\circ}\text{C}$,无霜期 170—200d,热量适于一年二熟。年降水量 500—950mm,黄河以北 500—600mm,60%—70% 集中夏季,春旱、夏涝;黄淮海平原 700—900 mm,雨水分布较均匀,但常发生伏旱。平原地区主要是潮土褐土,土地平坦,土层深厚,土质适宜耕作。

1.2 参数确定

根冠比、秸秆籽粒比、秸秆根茬还田率等参数用于估算秸秆、根茬以及根系分泌物等各种有机碳的输入量。

1.2.1 根冠比的确定

本文考虑了根部生长过程中分泌物数量,Johnson 研究发现,根际分泌物的量占根部生物量和分泌物总量

的 40%。因此本文根冠比是包含根际分泌物后得出的比值,即小麦玉米根冠比均为 0.6^[4]。

1.2.2 秸秆籽粒比的确定

小麦玉米秸秆籽粒比变化范围较大(表 1),最终采用常用的 1.1 和 1.2。

表 1 秸秆籽粒比
Table 1 Ratios of straw to grain

作物种类 Kind of crop	秸秆籽粒比 Ratios of straw to grain	范围 Rang	本文参数 Parameter of the text
小麦 Wheat	1.0 ^[10] ;1.1 ^[11-14] ;1.33 ^[15] ;1.4 ^[16] ;1.5 ^[17] ;1.08—2.57 ^[4]	1.0—2.57	1.1
玉米 Corn	1.2 ^[13-14,16] ;1.25 ^[15] ;1.4 ^[10] ;2.0 ^[11-12] ;0.86—1.89 ^[4]	1.2—2.0	1.2

1.2.3 根茬还田率的确定

长期定位试验中根茬均为全部还田,即还田率定为 100%。

1.2.4 秸秆根茬含碳量的确定

根据《中国有机肥料养分数据集》,秸秆风干基内碳素的平均含量 40%;本研究中小麦玉米秸秆和根茬的含碳量均为 40%。

1.3 计算方法

1.3.1 MSC 确定与计算

Johnson^[4]提出在不同作物体系,采用不同耕作措施,MSC 也有所不同。但 MSC 可通过线性方程确定:

$$y = a + bx \tag{1}$$

式中, y 是 SOC 变化量, x 是进入土壤的碳含量。因此,对于给定的相对稳定的环境,每年进入土壤的碳量和 SOC 变化量是变量,通过资料收集后可寻找二者的线性关系,从而确定该地区方程中的系数 a 、 b 。当 a 、 b 确定后,假设 y 等于 0,即维持土壤有机质含量不变,得出 x 的值,即该地区的 MSC。

1.3.2 作物籽粒产量与秸秆根茬碳还田量的计算

(1)籽粒产量 对于文献中已测定的小麦、玉米籽粒产量,二者在本文中采用试验所有年限的平均产量;对于文献中只给出了小麦玉米的总籽粒产量或单种作物籽粒产量,本文根据其他处理已测定的小麦玉米籽粒产量,计算出二者籽粒的比值为 0.7,进而推算得出小麦玉米的单产。

(2)秸秆还田量 长期定位试验中,试验设计给出的秸秆还田量:

$$\text{秸秆产量} = \text{籽粒产量} \times \text{秸秆籽粒比}$$

$$\text{秸秆碳还田量} = \text{秸秆还田量} \times \text{秸秆含碳量}$$

$$\text{根茬碳还田量} = (\text{籽粒产量} + \text{秸秆产量}) \times \text{根冠比} \times \text{根茬含碳量} \times \text{根茬还田率}$$

近年来黄淮海平原由于一些经济作物如蔬菜、果树开始大量施用农家肥,从而一些地区在冬小麦-夏玉米轮作体系中施用农家肥的数量逐渐减少甚至不施,有机肥主要以秸秆根茬为主,因此本文选择的长期定位试验均无粪肥的施用。

1.3.3 土壤有机质年均变化量的计算

土壤有机质均为耕层土壤(0—20cm)中的含量。由于长期定位试验通常并未给出每年土壤有机质含量,而是只给出试验的初始含量和最终含量:

$$\text{土壤有机质的年均变化量} = (\text{土壤有机质的最终含量} - \text{土壤有机质的最初含量}) / \text{试验年限}$$

2 结果与分析

2.1 长期定位试验中碳氮投入与土壤有机质变化情况

表 2 列出了本文收集的黄淮海平原 10 个冬小麦-夏玉米长期定位试验 48 个处理的氮碳投入与土壤有机质变化的基本情况。从表 2 中可以看出,各处理氮肥用量在 0—949 kg/(hm²·a),其中有不施氮肥对照处理 6 个、等于和低于 330 kg/(hm²·a)的处理 21 个和高于 331 kg/(hm²·a)的处理 21 个;秸秆和根茬的总碳投入量

表 2 长期定位试验中氮肥施用、秸秆还田与土壤有机质含量变化情况

Table 2 The situation of fertilizer treatment, straw amendment and the change of SOM in long-term trials in the region of Huanghuaihai plain

省市 Test site	土壤类型 Soil taxon	定位试验年限 Duration	肥料施用 Fertilizer treatment	氮肥用量 N fertilizer application rate/ (kg/(hm ² ·a))	秸秆还田碳量 Straw amendment rate/ (kg/(hm ² ·a))	秸秆根茬 还田总碳量 Total C (S + R) /(kg/(hm ² ·a))	土壤有机质 年变化量 Net Change of SOM /(g/(kg·a))	资料来源 Citation
北京	I	13	CK	0	0	1226	0.135	[18]
北京	I	13	N	300	0	1472	0.171	[18]
北京	I	13	NP	300	0	3443	0.257	[18]
北京	I	13	NK	300	0	1652	0.256	[18]
北京	I	13	NPK + C	300	1200	5265	0.386	[18]
北京	I	9	NPK	322	0	5286	0.232	[19]
北京	I	9	NPK + W	282	889	6358	0.526	[19]
北京	I	9	NPK + HW	287	1333	7293	0.778	[19]
北京	I	9	NPK + C	266	1333	6764	0.303	[19]
河北	II	8	CK	0	0	1326	-0.245	[20]
河北	II	8	NPK	475	0	6903	-0.095	[20]
河北	II	8	NPK + W	475	1800	10014	0.210	[20]
河北	II	8	NPK + C	475	1680	9145	0.174	[20]
河北	II	8	2NPK	949	0	8246	0.010	[20]
河北	II	8	CK	0	0	1832	-0.258	[21]
河北	III	8	NPK	475	0	6875	-0.115	[21]
河北	III	8	NPK + W	475	1800	10066	0.375	[21]
河北	III	8	NPK + C	475	1680	9845	0.344	[21]
河北	III	8	2NPK	949	0	7354	0.012	[21]
河北	III	8	NPK	475	0	7225	-0.115	[22]
河北	III	8	NPK + W	475	1800	10390	0.386	[22]
河北	III	8	NPK + C	475	1680	10240	0.344	[22]
河北	II	8	2NPK	949	0	7765	0.012	[22]
河北	II	8	NPK	475	0	6903	-0.067	[22]
河北	II	8	NPK + W	475	1800	10046	0.210	[22]
河北	II	8	NPK + C	475	1680	9894	0.174	[22]
河北	II	8	2NPK	949	0	7465	-0.049	[22]
河北	IV	7	NPK	479	0	6226	-0.229	[23]
河南	V	6	NPK	291	1439	7103	0.533	[24]
河南	VI	15	N	353	0	3637	-0.047	[25]
河南	VI	15	NP	353	0	6215	0.073	[25]
河南	VI	15	NPK	353	0	6397	0.027	[25]
河南	VI	15	NPK + C	353	3200	9923	0.273	[25]
河南	VII	5	CK	0	0	753	0.004	[26]
河南	VII	5	NP	300	0	6501	0.294	[26]
河南	VII	5	NK	300	0	888	0.026	[26]
河南	VII	5	NPK	300	0	6359	0.308	[26]
河南	VII	5	NPK + W	150	1000	7257	0.700	[26]
山东	VIII	15	NP	165	0	6292	0.147	[27]
山东	VIII	15	NP	165	900	6934	0.387	[27]
山东	VIII	15	NP	165	1800	7447	0.660	[27]
山东	VIII	15	NP	165	2700	8346	0.940	[27]
山东	VIII	15	C	0	900	4494	0.480	[27]
山东	IX	15	NP	165	0	4494	0.200	[27]
山东	IX	15	NP	165	900	6549	0.340	[27]
山东	IX	15	NP	165	1800	7062	0.420	[27]
山东	IX	15	NP	165	2700	8089	0.593	[27]
山东	IX	15	CK	0	900	5906	0.367	[27]

CK: 对照试验, 不施用任何化学肥料; N: 氮肥; NP: 氮肥和磷肥; NPK: 氮、磷、钾肥; NPK + W: 氮、磷、钾肥和小麦秸秆; NPK + C: 氮、磷、钾肥和玉米秸秆; 2NPK: 相同试验中氮磷钾肥料用量的 2 倍; I: 褐潮土; II: 轻壤质潮褐土; III: 中壤质潮褐土; IV: 盐渍化土; V: 河南省大部分土类; VI: 轻壤质潮土; VII: 轻壤质黄潮土; VIII: 潮土(中壤土); IX: 潮土(砂壤土); Total C(S + R): 投入的秸秆根茬总含碳量

在 $753\text{--}10390\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$, 其中对照较低; 不同处理下土壤有机质年变化量最小是 $-0.2580\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$, 最大是 $0.9400\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$, 平均值为 $0.2260\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$ 。48 个处理中土壤有机质年均变化量小于平均值的处理 24 个, 除去不施用任何化学肥料的 4 个对照试验, 剩余 20 个处理中氮肥用量超过 $330\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 的处理有 16 个, 占剩余 20 个处理的 80%。而土壤有机质年均变化量大于平均值的 24 个处理中, 氮肥用量低于 $330\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 的处理有 19 个, 占土壤有机质年均变化量小于平均值的所有处理的 79%。可见, 氮肥用量对土壤有机质积累有一定影响。

2.2 土壤有机质积累与碳氮投入的关系

如果不考虑氮肥投入, 48 个处理的土壤有机质变化量与秸秆根茬碳还田量的关系见图 1, 相关系数较低, R^2 仅为 0.110 ($r=0.3317, P<0.05$), 运用 t 检验法进行显著性分析得出 $t=2.38$ ($t_{0.025}<t<t_{0.005}$), 因此二者关系达到了显著正相关, 但并未达到极显著正相关关系; 如果不考虑有机碳投入, 48 个处理的土壤有机质变化量与氮肥的关系见图 2, 相关系数也很低, R^2 仅为 0.097 ($r=0.3114, P<0.05$), 运用 t 检验法进行显著性分析得出 $t=2.22$ ($t_{0.025}<t<t_{0.005}$), 二者关系达到了显著负相关, 但并未达到极显著负相关关系。

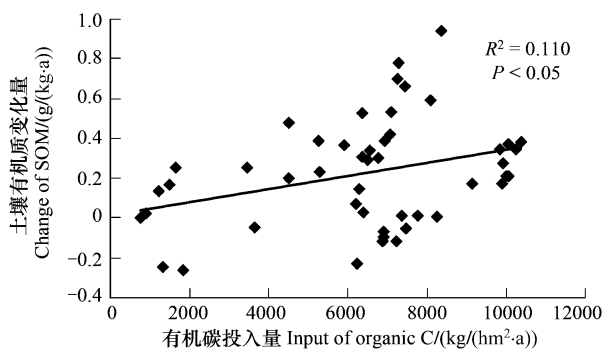


图 1 有机碳投入与土壤有机质积累的关系

Fig. 1 The relationship between input of SOC and the change of SOM

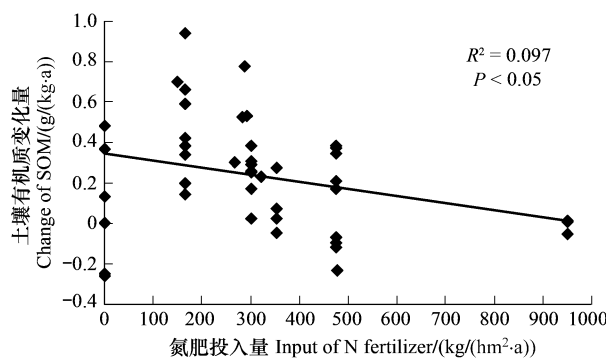


图 2 氮肥投入与土壤有机质积累的关系

Fig. 2 The relationship between input of N fertilizer and the change of SOM

如果将所有处理以长期定位试验中常用的化学氮肥施用量 ($330\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$) 为标准, 无论是低量 ($\leq 330\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$) 还是高量施氮 ($> 330\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$), 秸秆根茬碳还田量与土壤有机质变化量之间均呈极显著正相关关系, R^2 分别是 0.6344 和 0.6814 (图 3a、b) ($r=0.7965$ 和 $0.8252, P<0.01$)。运用 t 检验法进行显著性分析得出 t 分别是 6.58 和 6.37 ($t<t_{0.005}$), 因此属于极显著正相关关系。说明氮肥投入对土壤有机质积累与有机碳投入之间的关系有较大影响。

比较图 3a 和图 3b 可见, 同样碳投入水平下, 低量施氮的土壤有机质增加量明显高于高量施氮。如在秸秆碳还田量为 $6000\text{--}8000\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 时, 低量施氮下土壤有机质变化量最低是 $0.1467\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$, 最高是 $0.7778\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$, 不仅均为正值, 且变化量较高; 由图 3b 可见, 高量施氮下秸秆碳还田量为 $6000\text{--}8000\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 时, 土壤有机质变化量最低是 $-0.2286\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$, 最高也仅是 $0.0733\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$, 大部分为负值, 其余均为 $0\text{ g}/(\text{kg}\cdot\text{a})$ 左右。表明秸秆根茬碳还田量相同时, 高量施氮与低量施氮相比是不利于土壤有机质积累的。

2.3 黄淮海平原不同氮肥施用量下的 MSC

根据 Johnson^[4] 确定 MSC 的方法, 由图 3 得出在不同施氮量下, 土壤有机质积累与碳投入的数学模型分别为:

$$\text{低量施氮 } y = 0.000089x - 0.1167 \quad (2)$$

$$\text{高量施氮 } y = 0.000083x - 0.5804 \quad (3)$$

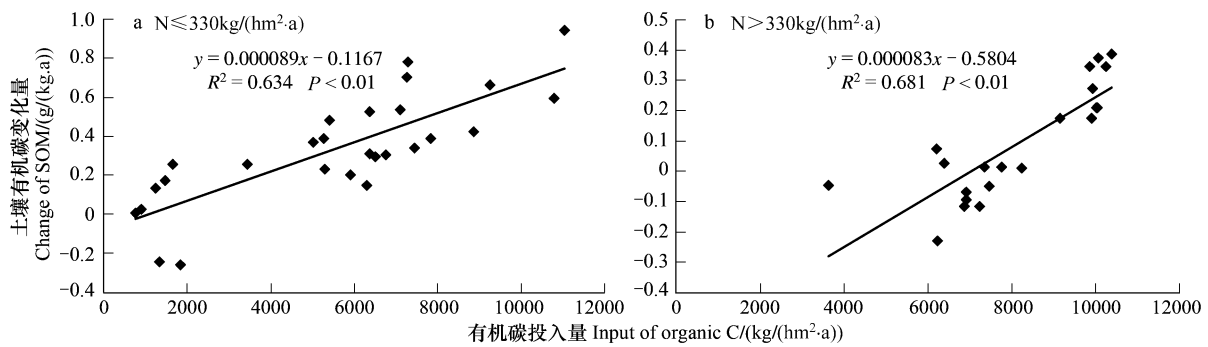


图3 不同氮肥用量下有机碳投入量与土壤有机质积累的关系

Fig. 3 The relationship between the input of SOC and the change of SOM in different N fertilizer rate

式中, y 土壤有机质变化量, 单位 $\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{a})$; x 秸秆根茬碳还田量, 单位 $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。假设公式(2)中 y 等于 0, 求出 x 为 1297, 即黄淮海平原在低量施氮情况下的 MSC 为 $1297 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 同理根据公式(3)计算得出黄淮海平原在高量施氮情况下 MSC 为 $7254 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。可见高量施氮下的 MSC 明显大于低量施氮下的 MSC, 前者是后者的 5.6 倍。说明氮肥的施用是影响 MSC 的因素之一, 氮肥施用量的增加会使 MSC 增大。

3 讨论

由于土壤有机质具有维持土壤肥力和影响大气 CO_2 浓度的双重作用, 近年来如何固定和提升土壤有机质成为研究的热点。加大秸秆根茬的还田量一直被看作是提升土壤有机质含量的重要途径^[5,28-29]。但从本研究结果看, 单纯强调加大外源物质投入量并不能使有机质有效地在土壤中积累, 而是需要配合其他管理措施, 特别应该强调氮肥的优化管理, 避免过量投入氮肥。

当前碳氮关系也是研究的热点, Gruber 和 Galloway 指出, 碳氮循环之间互动将成为对地球系统越来越重要的决定因素^[30]。氮肥施用对土壤有机质积累的影响目前有不同观点, 一些研究认为氮肥施用能够增加 SOC^[1-2,5], 但从本研究结果看, 适量氮肥对土壤有机质有积累作用, 而高量施氮并不利于土壤有机质累积, 反而增加了土壤有机质的损失。这可能是由于氮素是构成土壤微生物细胞的核心元素, 氮肥的过量施用加速了土壤微生物的活性, 特别是以碳素为原料的非自养微生物的活性, 进而加速了其对 SOC 的分解, 当其分解速度大于 SOC 的合成速度, 便造成了土壤有机质的下降。

我国作为农业大国和肥料大国, 氮肥过量施用现象比较普遍。调查发现^[31-33] 黄淮海平原小麦玉米轮作体系氮肥的常规施用量为 $375\text{—}673 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 不但高于专家推荐的氮素平均适宜量 ($300\text{—}400 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)^[34-35], 也高于本研究设定的 $330 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 的界限, 说明黄淮海平原现行的施氮量不仅会造成氮素的流失, 而且对提高土壤有机质也是不利的。虽然目前如何优化氮素管理已经受到人们重视, 但大多研究还是以增产、增效和降低环境污染为目标, 很少考虑土壤有机质的积累问题。因此, 今后作物高产高效的氮素养分管理研究中要把提高土壤有机质含量作为重要的指标。

由于本研究数据均来源于不同的长期定位试验, 试验背景、年限、土壤有机质的初始含量等因素有所差异, 且试验中常给出土壤有机质的初始和最终含量, 导致土壤有机质的年均变化量只能通过计算得出, 而土壤有机质的实际变化速率难以确定, 如何克服此类问题需要进一步研究。

4 结论

(1) 长期施肥下, 若不考虑氮肥施用, 土壤有机质变化量与秸秆根茬碳还田量呈正相关关系; 不考虑秸秆还田, 土壤有机质变化量与氮肥施用量呈负相关关系; 但其相关系数均较低。若分为高量和低量施氮两种情况, 土壤有机质变化量与秸秆根茬碳还田量之间均呈极显著正相关关系。氮肥施用对土壤有机质积累与碳投入关系具有较大影响。

(2) 还田相同量的秸秆根茬, 高量施氮下土壤有机质的年均积累量明显低于低量施氮, 盲目高量施用氮

肥对土壤有机质积累是不利的。

(3) 在黄淮海平原高量施氮下的维持土壤有机质平衡的碳投入量(MSC)是 $7254 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 低量施氮的 MSC 是 $1297 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 前者是后者的 5.6 倍。由此可见,大量施用氮肥会使 MSC 增加,降低了投入碳的积累。

References:

- [1] Huang Y, Sun W J. Change trend of organic carbon in farmland surface soil of mainland China during the past 20 years in Chinese. *Science Bulletin*, 2006,51(7):750-763.
- [2] Pan G X, Zhao Q G. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: facing the challenge of global change and food security. *Advances in Earth Science*, 2005,20(4):384-393.
- [3] Khan S A, Mulvaney R L, Ellsworth T R, Boast C W. The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. *Environment Quality*, 2007, 36:1821-1832.
- [4] Johnson J M F, Allmaras R R, Reicosky D C. Estimating source carbon from crop residue, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Agronomy Journal*, 2006, 98(3): 622-636.
- [5] Uppendra M S, Zachary N S, Ermson Z N, Irenus A T, Reddy K C. Tillage, cropping systems, and nitrogen fertilizer source effects on soil carbon sequestration and fractions. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37:880-888.
- [6] Mahdi M A, Marc L K, John E S. Effect of nitrogen fertilizer application on growing season soil carbon dioxide emission in a corn-soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*, 2008,37:325-332.
- [7] Song Y Y. The Effect of Nitrogen of Fertilizers on Soil Organic Carbon in the Huanghuihai plain. Beijing: China Agricultural University, 2006.
- [8] Mirasol F P, Eufrocino V L, Hermenegildo C G. Soil carbon and nitrogen changes in long-term continuous lowland rice cropping. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72:798-807.
- [9] Cao L H, Zhao S W. Progress of study on factors of affecting the SOC pool and measures for its regulating and controlling. *Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition)*, 2007,35(3):177-187.
- [10] Han L J, Yan Q J, Liu X Y, Hu J Y. Straw resources and their utilization in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002,18(3):87-91.
- [11] Liu G, Sheng L. Quantitative appraisal of biomass energy and its geographical distribution in China. *Journal of Natural Resources*, 2007,22(1):9-18.
- [12] Gao L W, Ma L, Zhang W F, Wang F H, Ma W Q, Zhang F S. Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization situation in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009,25(7):173-179.
- [13] Chinese Agriculture Technology and Popularization Center. Resource of Organic Fertilizer in China. Beijing: China Agriculture Press, 1999:57-63.
- [14] Chinese Agriculture Technology and Popularization Center. Records of Organic Fertilizer in China. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 121-139.
- [15] Zhang Q Z, Wu W L, Lin G H. Effect of wheat residue amendment on carbon sequestration in high-yielding region in the North China Plain. *Journal of Liaoning Technical University*, 2006,25(5):773-776.
- [16] Li Z P, Lin X X, Che Y P. Analysis for the balance of organic carbon pools and their tendency in typical arable soils of Eastern China. *Acta Pedologica Sinica*, 2002,39(3):351-360.
- [17] Lei H J, Li B G, Bai Y L. Modeling and Applications of soil organic matter in intensive cropping in China's Huang-Huai-Hai plain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005,38(5):956-964.
- [18] Song Y L, Tang H J, Li X P. The effects of long-term fertilization on crop yield and soil organic matter. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007,22(supplement):100-105.
- [19] Song Y L, Yuan F M, Yao Z H. Effect of combination of NPK chemical fertilizer and different organic materials on crop yield and soil organic matter. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 2002,17(4):73-76.
- [20] Han Z Q, Zhang D X, Wang J Y, Chen H B, Liu D Q. Effect of improving soil fertility in different measures on composition and characteristics of humus in the cinnamon soil of the eastern parts of Hebei Province. *Journal of Hebei Vocation Technical Teachers College*, 2000,14(2):1-3.
- [21] Han Z Q, Zhang D X, Wang J Y, Chen H B. The effect of long-term fertilization on the relationship between dynamic changes of oxidation stability of soil organic matter and soil fertility. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2000,23(3):22-53.
- [22] Han Z Q, Zhang D X, Wang J Y, Chen H B, Liu D Q. Study of the balance and regulation of soil organic matter in cinnamon soil of eastern Hebei province. *Journal of Hebei Vocation Technical Teachers College*, 2000, 14(1):5-8.
- [23] Wang L G, Li W J, Qiu J J, Ma Y L, Wang Y C. Effect of biological organic fertilizer on crops growth, soil fertility and yield. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2004(5):12-16.
- [24] Mu L, Zheng Y, Shen T, Ge S C. Report of supervise and test on soil fertility of mostly in field stamp in Henan Province. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2007(2):7-22.

- [25] Xu M G, Liang G Q, Zhang F D. The soil evolution in China. Beijing: China Agriculture Science Press, 2006: 191-207.
- [26] Qin S W, Gu Y C, Zhu Z L. A preliminary report on long-term stationary experiment on fertility evolution of fluvo-aquic soil and the effect of fertilization. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(3): 367-375.
- [27] Lao X R, Sun W H, Wang Z, Hao Y R, Zhang C A. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 618-623.
- [28] Zhang G S, Huang G B, Yin C. Soil organic carbon sequestration potential in cropland. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 351-375.
- [29] Yang J C, Han X G, Huang J H, Pan Q M. The dynamics of soil organic matter in cropland responding to agricultural practices. *Scientia Agriculturae Sinica*, 2003, 23(4): 787-796.
- [30] Gruber N, Galloway J N. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 2008, 451: 293-296.
- [31] Zhang W F, Ma W Q, Wang Y F, Zhang F S. Assessment on Farmers' Fertilization Behavior for Wheat Production in China. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(5): 1049-1055.
- [32] Cui Z L, Chen X P, Zhang F S, Xu J F, Shi L W, Li J L. Appropriate soil nitrate N content for a winter wheat/summer maize rotation system in north China plain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2227-2232.
- [33] Ma W Q. Condition, Questions and Countermeasures of Crop Applying Fertilization in Shangdong Province. Beijing: China Agricultural University, 1999.
- [34] Zhao R F, Chen X P, Zhang F S. Nitrogen cycling and balance in winter-wheat-summer-maize rotation system in northern China plain. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(4): 684-697.
- [35] Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, Cui Z L, Ma W Q, Chen X P, Jiang R F. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915-924.

参考文献:

- [1] 黄耀, 孙文娟. 近 20 年来中国大陆农田表土有机碳含量的变化趋势. *科学通报*, 2006, 51(7): 750-763.
- [2] 潘根兴, 赵其国. 我国农田土壤碳库演变研究: 全球变化和国家粮食安全. *地球科学进展*, 2005, 20(4): 384-393.
- [7] 宋燕燕. 黄淮海地区氮肥对土壤有机碳的作用. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [9] 曹丽花, 赵世伟. 土壤有机碳库的影响因素及调控措施研究进展. *西北农林科技大学学报*, 2007, 35(3): 177-187.
- [10] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 胡金有. 中国农作物秸秆资源及其利用现状. *农业工程学报*, 2002, 18(3): 87-91.
- [11] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 9-18.
- [12] 高利伟, 马林, 张卫峰, 王方浩, 马文奇, 张福锁. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 173-179.
- [13] 全国农业技术推广中心. 中国有机肥料养分志. 北京: 中国农业出版社, 1999: 57-63.
- [14] 全国农业技术推广中心. 中国有机肥料资源. 北京: 中国农业出版社, 1999: 121-139.
- [15] 张庆忠, 吴文良, 林光辉. 小麦秸秆还田对华北高产粮区碳截留的作用. *辽宁工程技术大学学报*, 2006, 25(5): 773-776.
- [16] 李忠佩, 林心雄, 车玉萍. 中国东部主要农田土壤有机碳库的平衡与趋势分析. *土壤学报*, 2002, 39(3): 351-360.
- [17] 雷宏军, 李保国, 白由路. 集约农作条件下土壤有机碳动态模拟及其在黄淮海平原区的应用. *中国农业科学*, 2005, 38(5): 956-964.
- [18] 宋永林, 唐华俊, 李小平. 长期施肥对作物产量及褐潮土有机质变化的影响研究. *华北农学报*, 2007, 22(增刊): 100-105.
- [19] 宋永林, 袁锋明, 姚造华. 化肥与有机物料配施对作物产量及土壤有机质的影响. *华北农学报*, 2002, 17(4): 73-76.
- [20] 韩志卿, 张电学, 王介元, 陈洪斌, 刘东强. 不同培肥措施对冀东褐土腐殖质组成及性质的影响. *河北职业技术师范学院学报*, 2000, 14(2): 1-3.
- [21] 韩志卿, 张电学, 王介元, 陈洪斌. 长期施肥对土壤有机质氧化稳定性动态变化及其与肥力关系的影响. *河北农业大学学报*, 2000, 23(3): 22-53.
- [22] 韩志卿, 张电学, 王介元, 陈洪斌, 刘东强. 冀东地区褐土有机质平衡与调控研究. *河北职业技术师范学院学报*, 2000, 14(1): 5-8.
- [23] 王立刚, 李维炯, 邱建军, 马永良, 王迎春. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究. *土壤肥料*, 2004(5): 12-16.
- [24] 慕兰, 郑义, 申眺, 葛树春. 河南省主要耕地土壤肥力监测报告. *中国土壤与肥料*, 2007(2): 7-22.
- [25] 徐明岗, 梁国庆, 张夫道. 中国土壤肥力演变. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 191-207.
- [26] 钦绳武, 顾益初, 朱兆良. 潮土肥力演变与施肥作用的长期定位试验初报. *土壤学报*, 1998, 35(3): 367-375.
- [27] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 郝艳如, 张昌爱. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响. *土壤学报*, 2003, 40(4): 618-623.
- [28] 张国盛, 黄高宝, YIN Chan. 农田土壤有机碳固定潜力研究进展. *生态学报*, 2005, 25(2): 351-375.
- [29] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 潘庆民. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应. *生态学报*, 2003, 23(4): 787-796.
- [31] 张卫峰, 马文奇, 王雁峰, 张福锁. 中国农户小麦施肥水平和效应的评价. *土壤通报*, 2008, 39(5): 1049-1055.
- [32] 崔振岭, 陈新平, 张福锁, 徐久飞, 石立伟, 李俊良. 华北平原冬小麦/夏玉米轮作体系土壤硝态氮的适宜含量. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2227-2232.
- [33] 马文奇. 山东省作物施肥现状问题与对策. 北京: 中国农业大学, 1999.
- [34] 赵荣芳, 陈新平, 张福锁. 华北地区冬小麦-夏玉米轮作体系的氮素循环与平衡. *土壤学报*, 2009, 46(4): 684-697.
- [35] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. *土壤学报*, 2008, 45(5): 915-924.