

现代农业科学精品文库
中国农业科学院科技创新工程资助出版

中国土壤肥力演变

第二版

徐明岗 张文菊 黄绍敏 等 / 著



 中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国土壤肥力演变 / 徐明岗等著. —2 版. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2015. 10
ISBN 978 - 7 - 5116 - 2132 - 0

I. ①中… II. ①徐… III. ①土壤肥力—演变—中国
IV. ①S158

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 127296 号

责任编辑 史咏竹 李 雪
责任校对 贾海霞

出版发行 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 82105169 (编辑室)
(010) 82109702 (发行部) 82109709 (读者服务部)
传 真 (010) 82109707
经 销 者 各地新华书店
网 址 <http://www.castp.cn>
印 刷 北京富泰印刷有限责任公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 71.25
字 数 1 650 千字
版 次 2015 年 10 月第二版 2015 年 10 月第二次印刷
定 价 295.00 元

《中国土壤肥力演变（第二版）》

著者名单

主 著 徐明岗 张文菊 黄绍敏

副主著 杨学云 卢昌艾 何亚婷 韩晓增 张淑香 车宗贤

刘 骅 石孝均 陈 义 朱 平 聂 军 黄庆海

蒋太明 周宝库 段英华

著 者（以姓氏拼音为序）

包兴国	蔡典雄	曹彩云	车宗贤	陈安磊	陈春兰	陈 琨
陈晓光	陈云峰	崔喜安	党红凯	段英华	俄胜哲	樊红柱
樊廷录	冯文强	高洪军	高菊生	高 伟	高中超	顾朝令
关春林	郭斗斗	郭 丽	郭 涛	郭志彬	韩宝文	韩晓日
韩晓增	郝小雨	何亚婷	侯红乾	胡 诚	胡惠文	花可可
黄 晶	黄欠如	黄庆海	黄绍敏	黄 涛	冀建华	贾良良
姜小凤	姜 宇	蒋太明	解丽娟	解文艳	李大明	李冬初
李洪民	李 慧	李菊芳	李科江	李 娜	李清华	李瑞平
李双来	李 渝	李忠芳	李祖章	廖育林	林 诚	林英华
林治安	刘东海	刘光荣	刘 骅	刘孟朝	刘树堂	刘武仁
刘显元	刘晓莉	刘秀梅	刘学成	刘益仁	柳开楼	卢秉林
卢昌艾	鲁艳红	罗龙皂	罗 洋	罗照霞	吕军杰	马俊永

马星竹	米刚	聂军	彭畅	乔艳	钦绳武	秦鱼生
邱珊莲	任顺荣	沈明星	施林林	石孝均	史新敏	宋祥云
孙本华	孙楠	孙锡发	汤利	唐忠厚	田茂芝	涂仕华
汪吉东	汪凯华	王斌	王伯仁	王道中	王飞	王福全
王劲松	王淑英	王婷	王西和	王月	魏猛	温延臣
吴会军	吴启华	武雪萍	肖厚军	谢坚	信秀丽	邢素丽
徐明岗	徐小林	杨曾平	杨劲峰	杨军	杨军芳	杨文玉
杨新强	杨学云	杨振兴	杨志奇	姚宇卿	叶会财	余喜初
袁金华	袁亮	展晓莹	张爱君	张会民	张建军	张久东
张丽	张璐	张淑香	张树兰	张水清	张文菊	张喜林
张秀芝	张雅蓉	张永春	张永会	张跃强	赵会玉	郑春莲
郑洪兵	郑金玉	周宝库	周怀平	周世伟	周鑫	朱安宁
朱平	邹文秀					

目 录

第一章 概 论	1
一、中国土壤肥力长期试验网络概况	1
二、长期施肥农田土壤有机质演变规律	4
三、长期施肥下中国农田作物产量变化特征	6
参考文献	9
第二章 长期施肥暗棕壤肥力演变规律与培肥技术	11
一、暗棕壤长期试验概况	11
二、长期施肥暗棕壤有机质和氮、磷、钾的演变规律	12
三、长期施肥暗棕壤 pH 值的变化	16
四、长期施肥暗棕壤微生物特征	16
五、作物产量对长期施肥的响应	19
六、长期施肥暗棕壤农田肥料回收率的变化	20
七、基于土壤肥力演变的秸秆还田与化肥配合施用技术	21
八、主要结论与研究展望	22
参考文献	23
第三章 长期养分循环模式下的典型黑土肥力演变	24
一、黑土养分循环长期试验概况	25
二、长期养分循环模式下黑土有机质和氮、磷、钾的演变规律	28
三、长期养分循环模式下黑土理化性质的变化特征	43
四、长期养分循环模式下黑土微生物和酶活性的变化特征	45
五、不同养分利用模式下黑土养分循环再利用特征	49
六、主要结论与展望	62
参考文献	64
第四章 长期施肥厚层黑土肥力演变和培肥技术	67
一、厚层黑土长期试验概况	67
二、长期施肥厚层黑土有机质和氮、磷、钾的演变规律	70
三、长期施肥厚层黑土 pH 值的变化	83
四、长期施肥厚层黑土的微生物特性和酶活性	84
五、长期施肥对厚层黑土土壤线虫群落的影响	89
六、作物产量对长期施肥的响应	91
七、基于土壤肥力演变的主要培肥技术	96
八、主要结论与研究展望	98
参考文献	99

第五章 长期施肥中层黑土肥力演变和培肥技术	101
一、中层黑土长期试验概况	101
二、长期不同施肥黑土有机质、氮、磷、钾和 pH 值的演变规律	103
三、长期不同施肥玉米产量的演变规律及肥料效应	115
四、依托长期试验及长期试验结果提出的土壤培肥技术模式	116
五、主要结论与研究展望	117
参考文献	118
第六章 有机无机肥配施条件下中层黑土肥力演变与产量效应	120
一、有机无机肥配施长期试验概况	120
二、长期有机无机肥配施黑土有机碳和氮、磷、钾的演变规律	121
三、长期有机无机肥配施黑土容重和 pH 值的演变规律	130
四、作物产量对长期有机无机肥配施的响应	132
五、作物产量与土壤肥力的关系	135
六、长期有机无机肥配施下的养分利用效率	137
七、基于土壤肥力演变培肥技术模式	142
八、主要结论与研究展望	143
参考文献	143
第七章 不同耕作方式下的中层黑土肥力演变	146
一、黑土长期耕作试验概况	146
二、长期免耕与翻耕条件下黑土肥力演变和玉米产量的变化	147
三、长期条带深松少耕与灭茬打垄条件下黑土肥力演变和玉米产量的变化	152
四、基于长期定位试验的土壤耕作技术模式	157
五、主要结论与展望	158
参考文献	159
第八章 长期施肥棕壤肥力演变与培肥技术	160
一、棕壤长期试验概况	160
二、长期施肥棕壤有机碳和氮、磷、钾的演变规律	161
三、长期不同施肥棕壤 pH 值、CEC 值、容重及生物活性的变化	175
四、长期不同施肥棕壤中微量元素含量的演变规律	179
五、作物产量对长期施肥的响应	181
六、基于土壤肥力演变的主要培肥技术	187
七、主要结论	188
参考文献	189
第九章 长期施肥均壤质褐潮土肥力演变	191
一、均壤质褐潮土长期施肥试验概况	191
二、长期施肥褐潮土有机质和氮、磷、钾的演变规律	192
三、长期施肥条件下作物产量的变化规律	197
四、长期不同施肥条件下的肥料回收率	200
五、长期不同施肥条件下褐潮土的养分表观平衡	203
六、主要结论	205

第六章 有机无机肥配施条件下中层黑土肥力演变与产量效应

黑土是我国主要耕地土壤之一，总面积达 $1.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，耕地面积 $7.0 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，占吉林、黑龙江两省总耕地面积的 50%。黑土土质肥沃，但由于近年来重用轻养，土壤有机质呈下降趋势，养分大量耗损，黑土层变薄，土地板结，土壤结构恶化，颜色由黑变黄，当地人称其为“破皮黄”“火烧云”（孙宏德，1991；孙宏德，2000）。据统计，现在黑土区每年流失 0.3 ~ 1.0cm 的黑土表层，而形成 1cm 表土则需要 400 年的时间。照此下去再有 50 年，黑土层将会流失殆尽（殷明，2009）。

针对此状况，1980 年开始在黑土长期定位监测基地——吉林公主岭试验基地，开展了长期施用有机肥和化肥以及二者配施对土壤肥力演变和作物增产效果的定位试验，以揭示长期不同施肥条件下土壤养分演变规律和对作物持续增产的效果，探明有机肥和化肥对黑土土壤培肥和作物增产的有效途径，为科学施肥、实现黑土耕地质量稳定提升、作物持续稳产高产提供理论依据和技术支撑。

一、有机无机肥配施长期试验概况

试验地位于吉林省公主岭市（东经 $124^\circ 48' 33.9''$ ，北纬 $43^\circ 30' 23''$ ），海拔高度约 220m，年平均气温 4 ~ 5℃，无霜期 125 ~ 140d，有效积温 2 600 ~ 3 000℃，年降水量 450 ~ 600mm，年蒸发量 1 200 ~ 1 600mm，年日照时数 2 500 ~ 2 700h。试验地土壤为中层黑土，经过 1978—1980 年 3 年匀地后，1980 年开始试验；试验开始时的耕层土壤（0 ~ 20cm）有机质含量 28.1g/kg，全氮 1.89g/kg，全磷 1.4g/kg，有效磷 21.9mg/kg，速效钾 153mg/kg。

（一）试验设计

试验为裂区设计，主处理为有机肥，设 3 个施肥水平，即 M0（不施有机肥），M30（施有机肥 $30\text{t}/\text{hm}^2$ ）、M60（施有机肥 $60\text{t}/\text{hm}^2$ ）；副处理为化肥，设 8 个处理：CK（不施肥对照）、N、P、K、NP、NK、PK、NPK，肥料施用量 N、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 $150\text{kg}/\text{km}^2$ 、 $75\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $75\text{kg}/\text{hm}^2$ ，共 24 个处理，不设重复。小区面积 100m^2 [$7\text{ 垅} \times (20.4\text{m} \times 0.7\text{m})/\text{垅}$]，随机排列。试验地无灌溉设施，作物生长期不灌水，为自然雨养农业。

试验用氮肥为尿素或磷酸二铵（含氮 46% 或 18%），磷肥过磷酸钙，钾肥为氯化钾或硫酸钾。有机肥为堆肥（猪粪和牛粪），1980—1992 年有机质含量为 8% ~ 10%、全氮 0.45% ~ 0.55%；1993—2007 年有机质含量 16% ~ 22%、全氮 0.66% ~ 0.87%。

供试作物为玉米，不同年份种植的品种为：玉米杂交种吉单 101（1980—1988 年），丹玉 13（1989—1993 年），吉单 304（1994—1996 年），吉单 209（1997—2003 年），郑单 958（2004—2008 年）。

土样采集均于每年 10 月玉米收获后进行，多点采集 0 ~ 20cm 耕层土样，混均后按照鲁如坤（2000）的方法测定土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾含量以及 pH 值和容重等指标。

(二) 数据处理与计算方法

产量变异系数 $CV(\%) = \text{标准差} / \text{平均产量} \times 100$

产量可持续性指数 $SYI = (\text{平均产量} - \text{标准差}) / \text{最高产量}$

相对产量 $(\%) = \text{各处理产量} / \text{当年全区最高产量} \times 100$

肥料农学效率 $(\text{kg/kg}) = (\text{全肥区产量} - \text{缺某种肥料区产量}) / \text{施肥量}$

肥料当季利用率 $(\%) = (\text{全肥区养分吸收量} - \text{缺某种肥料区养分吸收量}) / \text{施肥量} \times 100$

使用 Excel2003、DPS7.55、SASS8.0 和 Origin8.0 软件进行数据处理、绘图、统计分析和多重比较 (LSD 法), 显著水平为 $p < 0.05$ 。

二、长期有机无机肥配施黑土有机碳和氮、磷、钾的演变规律

(一) 土壤有机碳的演变规律

长期施用有机肥在提高土壤有机质和改善土壤养分状况方面的作用显著, 优于化肥 (高洪军, 2007; Galantini, 2006); 化肥对提高土壤有机碳、有机氮库等有微弱作用 (隋跃宇, 2005; Manna, 2005)。

从图 6-1 可以看出, 长期施用化肥条件下, 土壤有机碳 (SOC) 均有不同程度的下降趋势, 其中 P、K、NP 和 PK 处理有显著或极显著的降低, 其斜率分别为 -0.0339 、 -0.0601 、 -0.0628 和 -0.0457 , 而其他处理的变化不明显 (Majumder, 2007)。经过 30 年的施用化肥, NPK 处理的 SOC 变化最小, 为 -3.17% , 这是由于 NPK 处理的玉米产量显著高于其他处理, 相应的作物地下部根系量增大, 加大了根系碳的投入, 可以在一定程度上缓解 SOC 的降低 (Smith, 2004)。

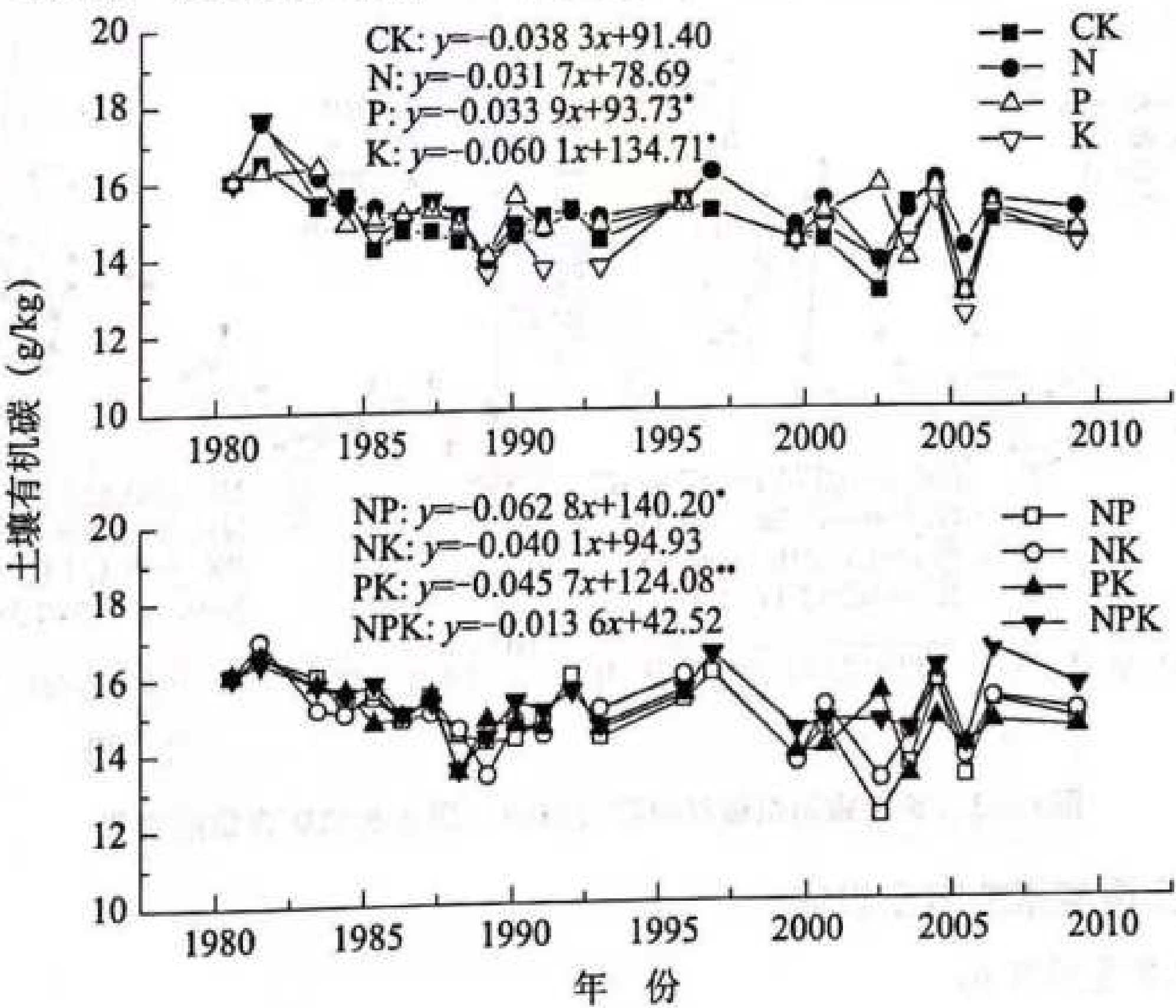


图 6-1 长期施用化肥黑土有机碳含量的变化

注: 部分年份数据缺失, 因此折线在数据不完整处断开, 本章余图同

长期施用有机肥 (M30 和 M60) 均可极显著提高土壤有机碳含量 (图 6-2 和图 6-3)。其中, 单施高量有机肥处理的 SOC 年递增率高于单施低量有机肥处理, 即 k_{mo} (0.2741) $>$ k_{mo} (0.1721)。不同量的有机肥与化肥配施可以进一步提高 SOC 的增加率, 但与低量有机肥投入相比, 高量有机肥投入的 SOC 年增加率不是随着有机肥投入量翻倍而翻倍, 这是由于随着高量碳的投入, 土壤中的 C/N 超过了适宜值, 土壤处于固碳阶段 (Zhong, 2010; Fang, 2005)。

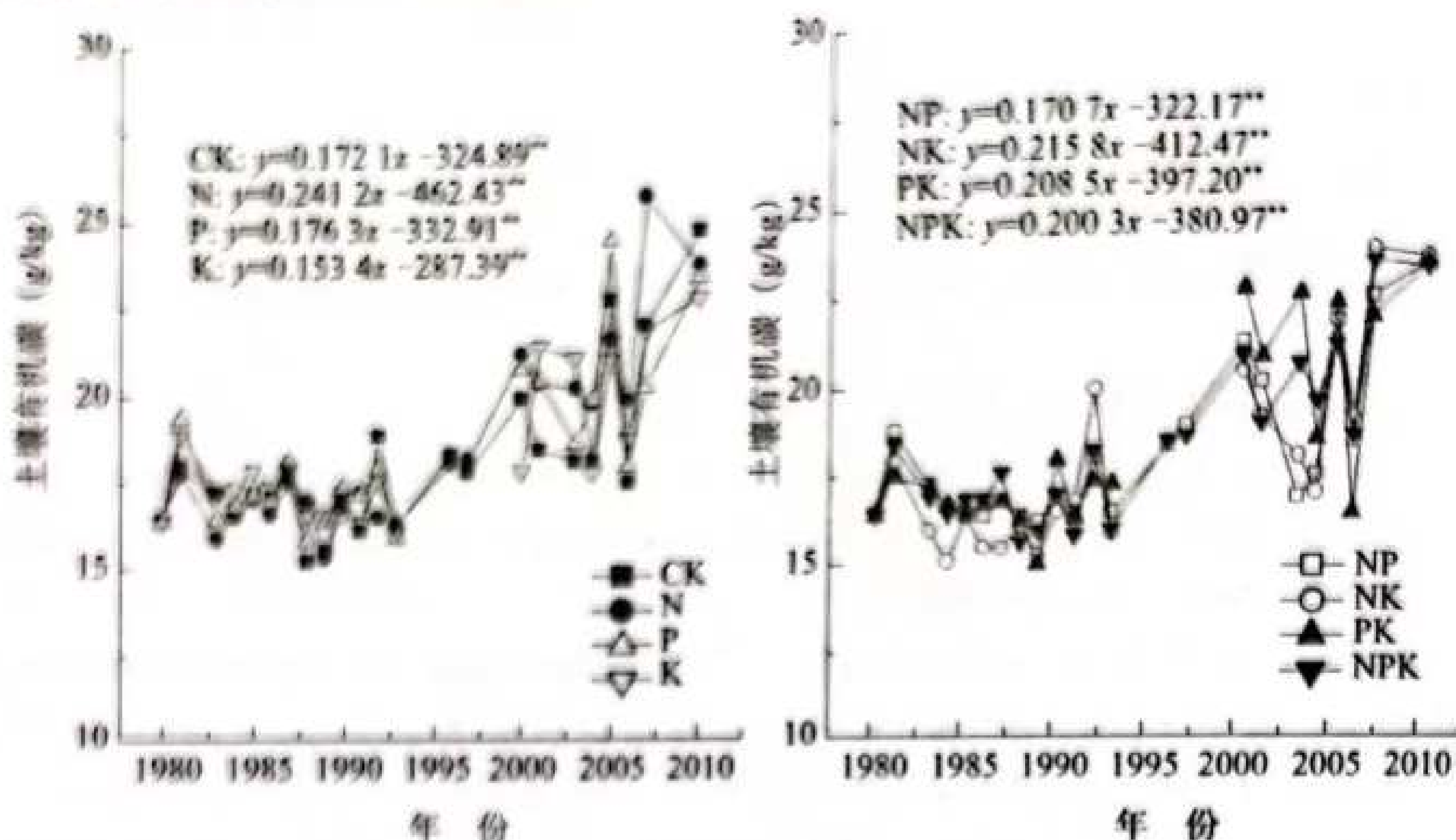


图 6-2 长期施用常量有机肥 (M30) 黑土有机碳含量的变化

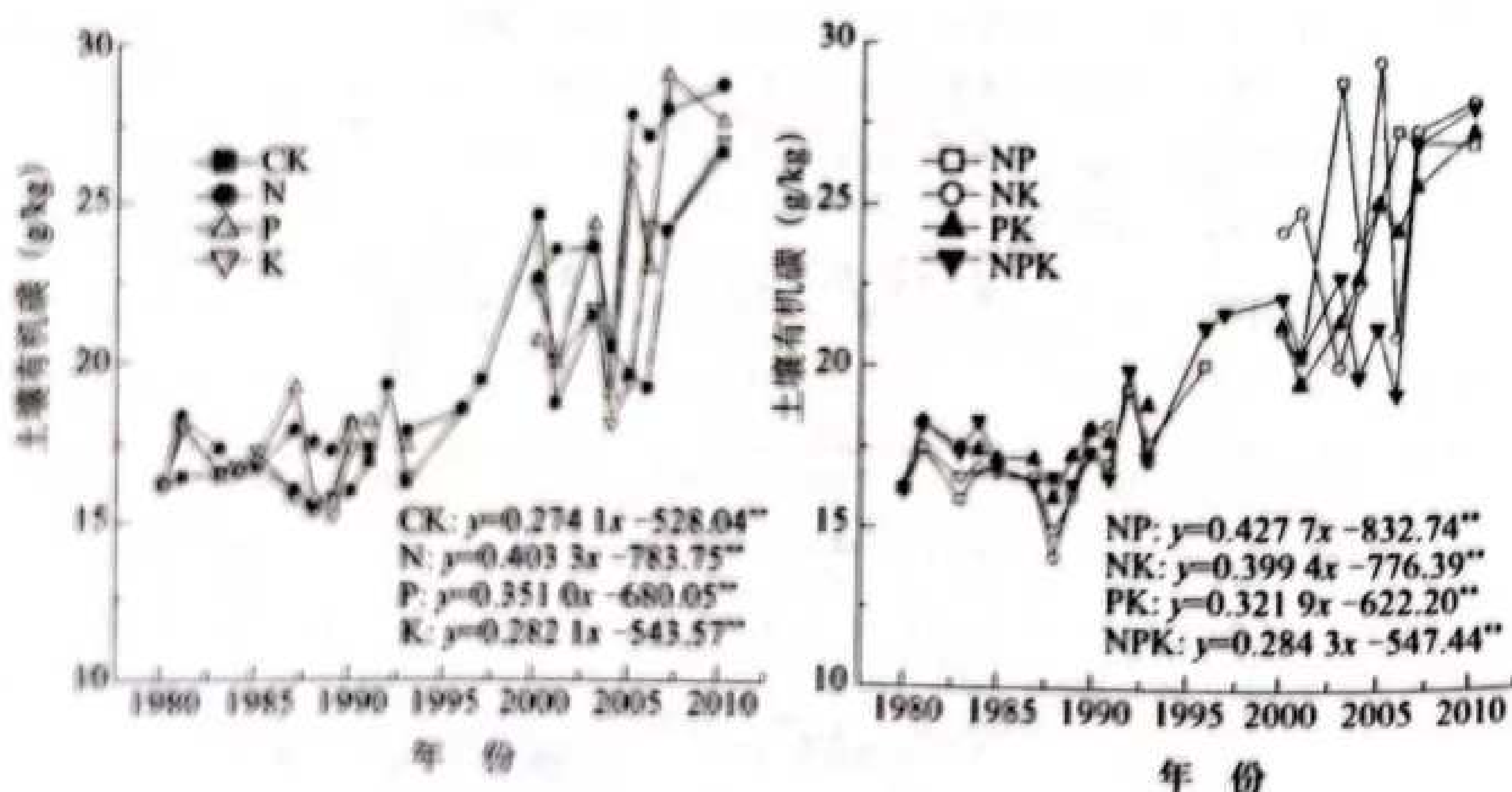


图 6-3 长期施用高量有机肥 (M60) 黑土有机碳含量的变化

(二) 土壤氮素的演变规律

1. 全氮含量的变化

图 6-4 显示, 在长期施化肥条件下 (M0), 土壤全氮均有显著或极显著的下降趋势, 其中 NP 和 NK 处理的下降速度最快, 其斜率分别为 -0.0215 和 -0.0217 。

试验结果表明,长期施用化肥会导致土壤全氮含量降低,从土壤和可持续发展的角度来看,需要改善这一问题,应考虑土壤的氮素培肥(蔡祖聪,2006; Chaudhury, 2005)。

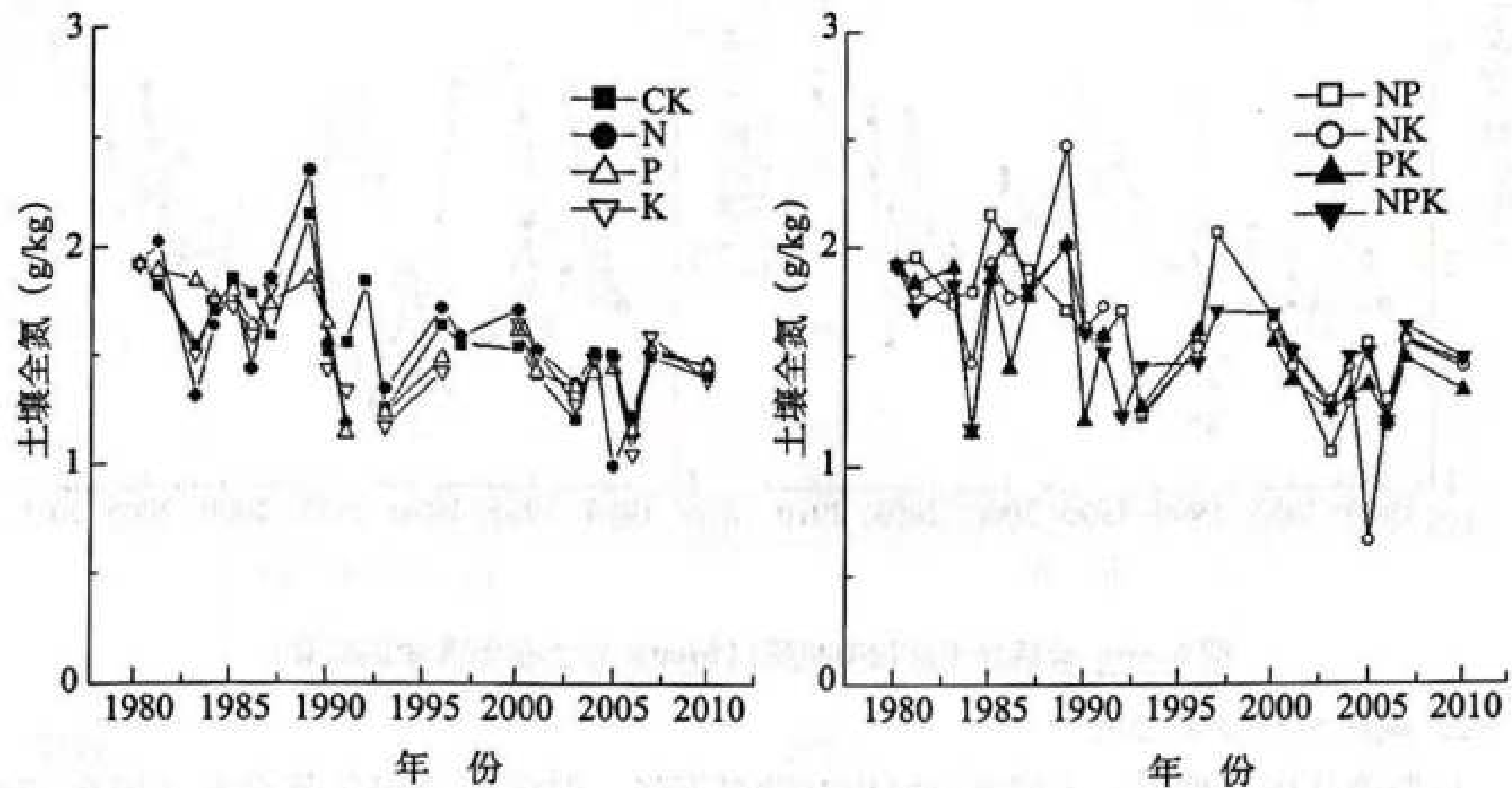


图 6-4 长期施用化肥 (M0) 黑土全氮含量的变化

长期施用常量有机肥 (M30) 可以在一定程度上提高土壤全氮含量 (图 6-5), 但其中仅 M30 + N 处理的全氮含量有显著提高, 提高速率为 $0.0179 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 。高量有机肥区 (M60) 所有处理的土壤全氮含量均显著或极显著提高 (图 6-6), 其中 M60 + NP 处理的提高速度最快, 为 $0.0316 \text{ g}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 。

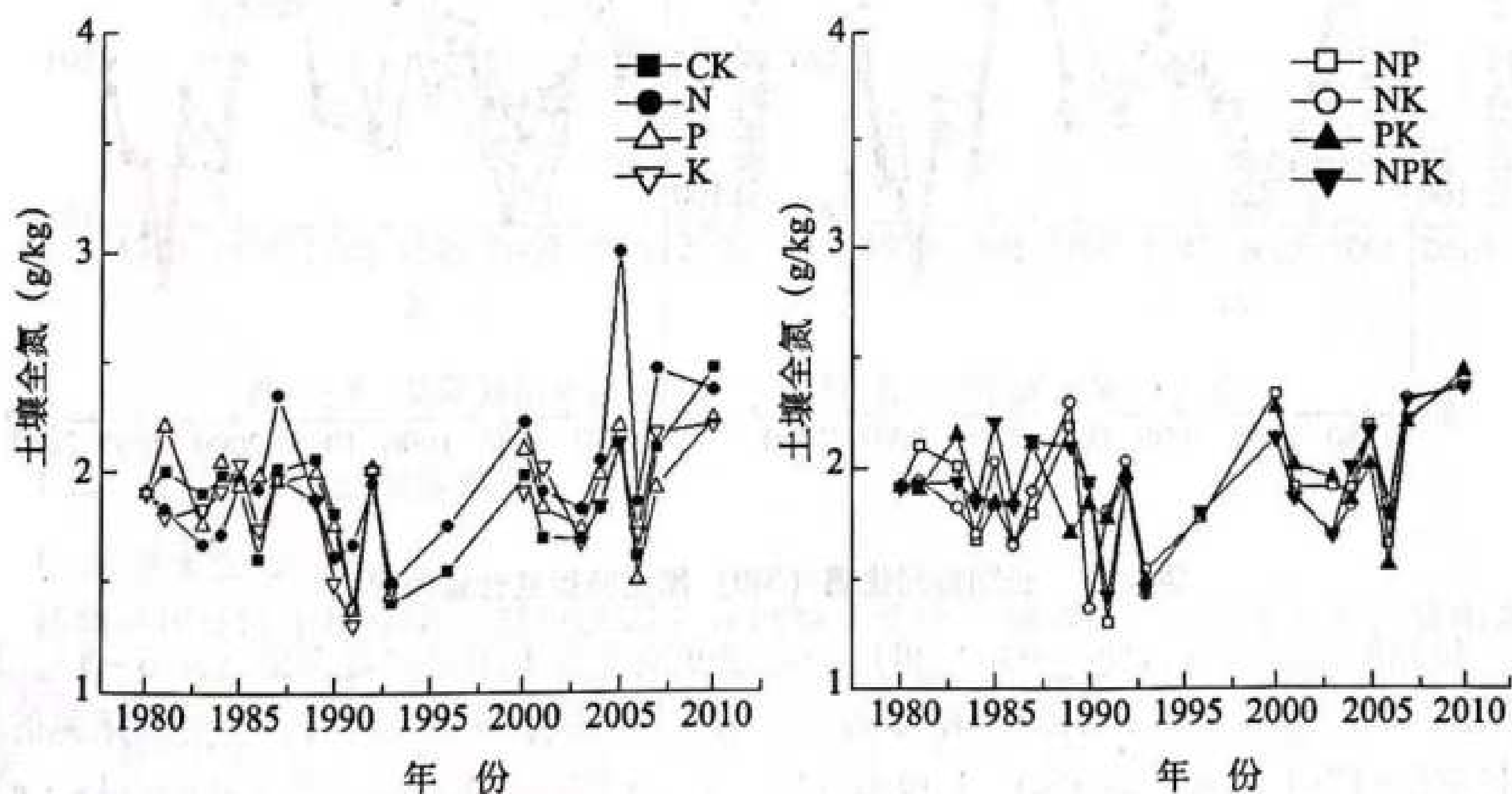


图 6-5 长期施用常量有机肥 (M30) 黑土全氮含量的变化

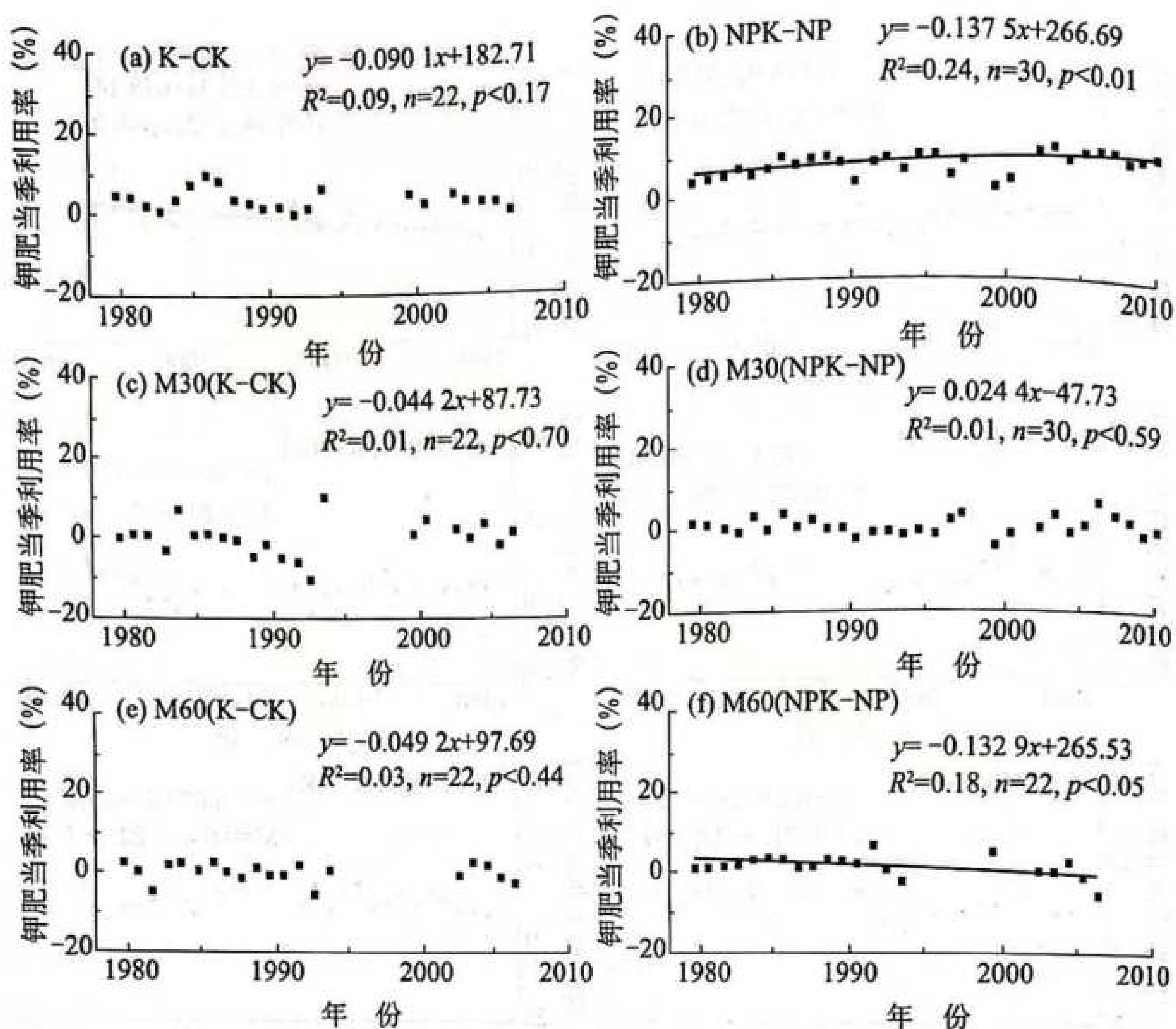


图 6-33 长期施用有机肥条件下的钾肥当季利用率

七、基于土壤肥力演变培肥技术模式

本研究发现长期施肥可以显著提高土壤有机碳含量, 作物产量也随之增加。但是当土壤有机碳提高到一定程度, 产量则不再增加, 即作物产量与土壤有机碳含量呈非线性的相关关系, 并且其相关性达到极显著水平。本研究探讨了当玉米相对产量趋近最大值的 95% 时, 土壤有机碳含量为 18.68g/kg, 可以作为维持作物高产的适宜的有机碳 (SOC) 含量。Janzen 和 Howard 从产量的角度研究得出, 多数土壤作物产量不再明显增加的 SOC 适宜值是 20g/kg, 即土壤有机质 (SOM) 为 34g/kg, 与本研究结果相近。因此, 当土壤肥力足够高时, 即在该区域当 SOC 含量水平达到 18.68g/kg 时, 作物产量将不再增加。也就是说, 在生产实际中可以用该指标来指导土壤增肥中有机肥的施用量。另外, 在此基础上, 我们估算了作物根茬碳和有机肥碳的总和, 即总碳投入量, 结果显示总碳投入量与土壤有机碳呈极显著的正相关关系, 原因主要是土壤有机碳含量的高低取决于有机物质的输入量和作物根茬的残留量, 尤其是有机肥碳对土壤有机碳提高的效果更为明显。在长期培肥条件下, 由于根茬碳和有机肥碳的 30 年持续投入, 该区域的土壤有机碳年固存速率达到了 $0.1463 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 而年分解速率为 $0.17 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 因此要维持该区域土壤有机碳储量不变, 碳的投入量应维持在 $1.16 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。张文菊等人的研究发现, 该地区的土壤有机碳年固存速率为 $0.1583 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 与本研究的結果基本一致。

八、主要结论与研究展望

(一) 主要结论

不论是有机肥还是化学肥料,对作物均具有极好的增产效果,通过长期施用,两者的产量效果几乎没有差异,有机肥料同样具有持续的增产作用和满足作物高产需要的能力。另外,氮磷钾配施可降低产量变异系数,提高产量的可持续性指数,施有机肥则可进一步提升产量的可持续性,使农业生产系统的可持续性增强;而不均衡施肥致使农业生态系统的养分不均衡,导致其可持续性差。

不施肥和单施化肥处理的土壤全氮、有效磷和速效钾含量随试验年限的增加呈显著下降的趋势,而有机肥及其与化肥配施均可以维持和提高土壤养分含量,有机肥的效果显著优于化肥。在30年的有机培肥过程中,有机肥和化肥对作物产量,以及土壤有机碳、全氮、碱解氮、全磷、有效磷和速效钾均有显著或极显著的影响,但是对土壤全钾含量的影响不显著。

玉米相对产量与土壤有机碳、碱解氮、有效磷和速效钾均呈非线性相关关系,并且其相关性达到了极显著水平;当玉米相对产量趋近最大值的95%时,土壤有机碳含量为18.68g/kg,碱解氮为173.53mg/kg,有效磷为32.15mg/kg,速效钾为277.12mg/kg。

作物产量与土壤有机碳呈极显著的非线性相关关系;总碳的投入与土壤有机碳极显著正相关。在该区域土壤有机碳的年固存速率为 $0.146\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,年分解速率为 $0.17\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,因而要维持该区域土壤有机碳储量不变,其碳的投入量应维持在 $1.16\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

氮磷钾肥配施条件下的化肥农学效率和肥料当季利用率随着施肥年限的延长呈上升趋势,并且达到显著或极显著水平;常量有机肥区和高量有机肥区的化肥农学效率和肥料当季利用率随试验年限的增加分别呈变化不显著和显著降低趋势,即随着土壤肥力水平的提高,化肥的效应呈逐年下降趋势。

(二) 存在问题与研究展望

长期试验有其定位性和延续性,还可弥补和弱化气候因素的影响,因此更能揭示和说明一些科学问题。但在本定位试验中仍存在尚待进一步研究的问题。

(1) 相对土壤化学指标,土壤的物理性质监测年限偏少。土壤物理性质对土壤肥力质量具有重要影响,但由于土壤物理性质较稳定,因此监测相隔的年份过长,导致其年份数据明显少于化学指标,比如土壤容重数据的缺失,由于该指标是土壤有机碳库统计分析的重要参数,因此影响土壤有机碳库统计分析的准确性。

(2) 秸秆产量、有机肥年矿化率等一些重要数据的获得。比如在该区域,有机肥矿化率等重要参数会直接影响估算结果,建议通过短期试验进行补充测定,以保证试验数据的完整性和分析的科学性。

本章节作者名单 李慧、张文菊、段英华、孙楠、卢昌艾、何亚婷、张璐、朱平、彭畅

参考文献

[1] 鲍士旦.2000.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社.

- [2] 蔡祖聪, 钦绳武. 2006. 华北潮土长期试验中的作物产量、氮肥利用率及其环境效应 [J]. 土壤学报, 43 (6): 885 - 891.
- [3] 段英华, 徐明岗, 王伯仁, 等. 2010. 红壤长期不同施肥对玉米氮肥回收率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 16 (5): 1 108 - 1 113.
- [4] 高洪军, 朱平, 彭畅, 等. 2007. 黑土有机培肥对土地生产力及土壤肥力影响研究 [J]. 吉林农业大学学报, 29 (1): 65 - 69.
- [5] 高静, 张淑香, 徐明岗, 等. 2009. 长期施肥下三类典型农田土壤小麦磷肥利用效率的差异 [J]. 应用生态学报, 19 (9): 2 142 - 2 148.
- [6] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 2002. 尿素配施有机物料时土壤不同氮素形态的动态及利用 [J]. 中国农业大学学报, 7 (3): 52 - 56.
- [7] 李忠芳, 徐明岗, 张会民, 等. 2012. 长期施肥下作物产量演变特征的研究进展 [J]. 西南农业学报, 25 (6): 2 387 - 2 392.
- [8] 李忠芳, 徐明岗, 张会民, 等. 2010. 长期施肥和不同生态条件下我国作物产量可持续性特征 [J]. 应用生态学报, 20 (5): 1 264 - 1 269.
- [9] 林葆, 林继雄, 李家康. 1996. 长期施肥作物产量和土壤肥力的变化 [M]. 北京: 中国农业出版社.
- [10] 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.
- [11] 摄晓燕, 谢永生, 郝明德, 等. 2009. 黄土旱塬长期施肥对小麦产量及养分平衡的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 27 (6): 27 - 32.
- [12] 隋跃宇, 张兴义, 焦晓光, 等. 2005. 长期不同施肥制度对农田黑土有机质和氮素的影响 [J]. 水土保持学报, 19 (6): 190 - 194.
- [13] 孙宏德, 朱平. 2000. 黑土肥力和肥料效益演化规律的研究 [J]. 玉米科学, 8 (4): 70 - 74.
- [14] 孙宏德, 李军. 1991. 黑土肥力和肥料效益定位监测研究 [J]. 吉林农业科学, 8 (3): 42 - 45.
- [15] 王伯仁, 徐明岗, 文石林, 等. 2002. 长期施肥土壤氮的累积与平衡 [J]. 植物营养与肥料学报, 8 (增刊): 29 - 34.
- [16] 徐建明, 张甘霖, 谢正苗, 等. 2010. 土壤质量指标与评价 [M]. 北京: 科学出版社.
- [17] 徐明岗, 梁国庆, 张夫道, 等. 2006. 中国土壤肥力演变 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- [18] 闫鸿媛, 段英华, 徐明岗, 等. 2011. 长期施肥下中国典型农田小麦氮肥利用率的时空演变 [J]. 中国农业科学, 44 (7): 1 399 - 1 407.
- [19] 殷明. 2009. 长期不同施肥对黑土基本性状及土壤有机碳组成的影响 [D]. 南京: 南京农业大学.
- [20] Aulakh M S, Garg A K, Kabba B S. 2007. Phosphorus accumulation, leaching and residual effects on crop yields from long-term applications in the subtropics [J]. *Soil Use and Management*, 23: 417 - 427.
- [21] Bhattacharyya R, Kundu S, Prakash V, et al. 2008. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybean-wheat system of the Indian Himalayas [J]. *European Journal of Agronomy*, 28: 33 - 46.
- [22] Chaudhury J, Mandal U K, Sharma K L, et al. 2005. Assessing soil quality under long-term rice-based cropping system [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 1 141 - 1 161.
- [23] Fang C, Smith P, Smith J U, et al. 2005. Incorporating microorganisms as decomposers into models to simulate soil organic matter decomposition [J]. *Geoderma*, 129: 139 - 146.
- [24] Galantini J, Rosell R. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils [J]. *Soil and Tillage Research*, 87: 72 - 79.
- [25] Majumder B, Mandal B. 2007. Soil organic carbon pools and productivity relationships for a 34 year

old rice-wheat-jute agroecosystem under different fertilizer treatments [J]. *Plant Soil*, 297: 53 – 67.

[26] Manna M C, Swarup A, Wanjari P H, *et al.* 2005. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical [J]. *India Field Crops Research*, 93: 264 – 280.

[27] Zhu P, Ren J, Wang L C, *et al.* 2007. Long-term fertilization impacts on corn yields and soil organic matter on a clay-loam soil in Northeast China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170: 219 – 223.

[28] Smith P. 2004. Carbon sequestration in cropland: the potential in Europe and the global context [J]. *European Journal of Agronomy*, 20: 229 – 236.

[29] Griffin T S, Honeycutt C W, He Z. 2003. Changes in soil phosphorus from manure application [J]. *Soil Science of Society America Journal*, 67 (2): 645 – 652.

[30] Tang X, Ma Y B, Hao X Y, *et al.* 2009. Determining critical values of soil Olsen-P for maize and winter wheat from long-term experiments in China [J]. *Plant Soil*, 323: 143 – 151.

[31] Yang S, Li F M, Suo D R, *et al.* 2006. Effect of long-term fertilization on soil productivity and nitrate accumulation in Gansu oasis [J]. *Agricultural Sciences in China*, 5 (1): 57 – 67.

[32] Zhang W J, Xu M G, Wang B R, *et al.* 2009. Soil organic carbon, total nitrogen and grain yields under long-term fertilizations in the upland red soil of southern China [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 84: 59 – 69.

[33] Zhang W J, Wang X J, Xu M G, *et al.* 2010. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilizations in arable land of northern China [J]. *Biogeosciences*, 7: 409 – 425.