

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办  
科学出版社 出版

2015

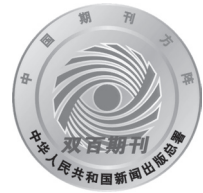
第52卷 第6期

Vol.52 No.6



# 土壤学报

( Turang Xuebao )



第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

## 目 次

### 综述与评论

- 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑····· 赵彦锋 程道全 陈杰等 ( 1197 )  
 蚯蚓对土壤温室气体排放的影响及机制研究进展····· 卢明珠 吕宪国 管强等 ( 1209 )

### 研究论文

- 高寒山区地形序列土壤有机碳和无机碳垂直分布特征及其影响因素····· 杨帆 黄来明 李德成等 ( 1226 )  
 中国中、东部典型县域土壤与地表水体多样性的粒度效应及关联性····· 任圆圆 张学雷 ( 1237 )  
 渭北台塬区耕地土壤速效养分时空变异特征····· 于洋 赵业婷 常庆瑞 ( 1251 )  
 黄河三角洲土壤含水量状况的高光谱估测与遥感反演····· 李萍 赵庚星 高明秀等 ( 1262 )  
 干湿交替对黄土崩解速度的影响····· 王健 马璠 张鹏辉等 ( 1273 )  
 晋陕蒙接壤区露天矿层状土壤水分入渗特征与模拟····· 吴奇凡 樊军 杨晓莉等 ( 1280 )  
 旱作褐土中氧化铁的厌氧还原与光合型亚铁氧化特征····· 孙丽蓉 王旭刚 徐晓峰等 ( 1291 )  
 流动电位法研究高岭石胶体对包铝石英砂zeta电位的影响····· 李忠意 徐仁扣 ( 1301 )  
 近10年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析····· 于飞 施卫明 ( 1311 )  
 太行山山麓平原30年间土壤养分与供肥能力变化····· 刘建玲 贾可 廖文华等 ( 1325 )  
 亚热带丘陵小流域土壤碳氮磷生态计量特征的空间分异性····· 杨文 周脚根 王美慧等 ( 1336 )  
 塔里木盆地北缘绿洲土壤化学计量特征····· 李红林 贡璐 朱美玲等 ( 1345 )  
 东北平原土壤硒分布特征及影响因素····· 戴慧敏 宫传东 董北等 ( 1356 )  
 浙江南部亚热带森林土壤植硅体碳的研究····· 林维雷 应雨骐 姜培坤等 ( 1365 )  
 土壤非多次叠加污染对蚯蚓的毒性效应····· 马静静 钱新春 张伟等 ( 1374 )  
 有机肥对黄瓜枯萎病的防治效果及防病机理研究····· 赵丽娅 李文庆 唐龙翔等 ( 1383 )  
 滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应····· 张体彬 康跃虎 万书勤等 ( 1392 )  
 石羊河流域中下游浅层地温变化及其对气温变化的响应····· 杨晓玲 丁文魁 马中华等 ( 1401 )  
 高放废物处置库预选场址包气带土壤渗透性研究····· 李杰彪 苏锐 周志超等 ( 1412 )

### 研究简报

- 基于TM数据的黑土有机质含量空间格局反演研究····· 宋金红 吴景贵 赵欣宇等 ( 1422 )  
 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估····· 单燕 李水利 李茹等 ( 1430 )  
 宇宙射线土壤水分观测方法在黄土高原草地植被的应用····· 赵纯 袁国富 刘晓等 ( 1438 )

### 信息

- 《土壤学报》入选“2015期刊数字影响力100强”····· ( 1437 )

封面图片：滴灌枸杞改良龟裂碱土重度盐碱荒地（由张体彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201412100638

# 太行山山麓平原30年间土壤养分与供肥能力变化\*

刘建玲<sup>1</sup> 贾可<sup>1, 2</sup> 廖文华<sup>1</sup> 高志岭<sup>2</sup> 吕英华<sup>3</sup> 贾文竹<sup>3</sup>

(1 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北保定 071000)

(2 中国-阿拉伯化肥有限公司, 河北秦皇岛 066003)

(3 河北省农业厅土壤肥料总站, 石家庄 050021)

**摘要** 采用大面积土壤养分定位监测和肥料定位试验相结合的方法, 研究了太行山山麓平原 17 个县 851 个点在 1978—2008 年的土壤养分动态变化及 1996—1999 年、2010—2012 年两时段土壤供肥能力的变化。研究结果: 1978—2008 年间, 太行山山麓平原冬小麦-夏玉米轮作区土壤有机质、全氮、有效磷的含量分别增加了  $7.67 \text{ g kg}^{-1}$ 、 $0.31 \text{ g kg}^{-1}$ 、 $17.77 \text{ mg kg}^{-1}$ ; 其中, 1993—2008 年间的变化量分别占 1978—2008 年间变化量总量的 70.8%、60.0%、75.5%。土壤速效钾含量在 1978—1993 年间降低了  $16.45 \text{ mg kg}^{-1}$ , 而在 1993—2008 年期间增加了  $14.40 \text{ mg kg}^{-1}$ 。同时, 土壤有机质、有效磷和速效钾含量的空间变异正在逐渐增加, 土壤全氮含量的变化在逐渐减小。目前土壤供氮、磷、钾能力在冬小麦茬口分别为 89.3%、84.6%、96.6%, 较 1996—1999 年期间分别增加 37.9、0.7、2.1 个百分点; 土壤供氮、磷、钾能力在夏玉米茬口分别为 72.8%、90.2%、86.1%, 比 1996—1999 年期间土壤供氮、磷、钾分别增加 18.0、7.1、-4.8 个百分点。土壤氮磷钾输入量超过作物需求量从而导致土壤有机质、有效磷和速效钾等肥力指标逐渐升高, 作物产量对肥料养分的响应日趋迟钝, 肥料利用率逐渐降低。

**关键词** 太行山山麓平原; 冬小麦-夏玉米轮作; 土壤供肥量; 土壤养分动态变化; 产量效应

**中图分类号** S153 **文献标识码** A

2005 年开始的全国测土配方施肥中的土壤养分测定工作已结束, 结果表明目前土壤肥力普遍增加, 尤其是磷肥的过量施用导致土壤有效磷大幅度增加<sup>[1]</sup>已成事实。因此, 目前亟待解决不同区域不同耕地地力下维持作物高产要不要施肥? 施何种肥料? 施多少肥料? 等系列问题。

20 世纪 70 年代末, 全国第二次土壤普查结果表明河北省太行山山麓平原区土壤肥力较低<sup>[2]</sup>, 氮、磷、钾肥的增产效应显著<sup>[3-4]</sup>。20 世纪 80 年中期以后, 随着肥料用量的不断增加肥料养分的增产效应逐减<sup>[5-6]</sup>, 土壤氮磷养分收支表观平衡由亏转为盈<sup>[7-9]</sup>, 农田土壤氮磷输入量大于输出量<sup>[10-11]</sup>使得土壤供氮、磷能力逐渐增加<sup>[12]</sup>, 农田土壤氮磷养分的环境风险随之增大<sup>[13-14]</sup>。与土壤有机质和有效磷相比, 土壤速效钾区域间变化趋势各有不

同, 高产区钾素多为亏缺<sup>[15]</sup>, 20 世纪 90 年代初河北省太行山山麓平原区土壤速效钾多为降低<sup>[16]</sup>。

迄今为止, 平衡施肥仍为国内外计算推荐施肥量的重要理论依据<sup>[3-4]</sup>, 而肥料的产量效应受地形地貌、气候条件、土壤母质、土壤养分含量、作物品种等多种因素的影响。近年的研究多从宏观上即肥料-作物-土壤-环境(水和大气等)系统中计算氮磷钾的输入-输出平衡状况<sup>[10-11, 17-18]</sup>, 而难于考虑土壤养分消长规律及其作物对肥料产量响应的区域特点。因此, 单从宏观上的土壤氮、磷、钾收支平衡角度难于准确回答不同区域维持作物高产下合理施肥量等问题。

针对上述问题, 本文以河北省太行山山麓平原为供试区域, 以主栽作物冬小麦和夏玉米(冬小麦-夏玉米轮作)为供试作物, 通过系统研究该区

\* 河北省科技支撑项目(122202D)和河北省农业开发办公室项目资助

作者简介: 刘建玲(1962—), 女, 教授, 博士生导师, 从事植物营养、施肥与环境研究。Tel: 0312-7528200, E-mail: jlliu@hebau.edu.cn

收稿日期: 2014-12-10, 收到修改稿日期 2015-05-26

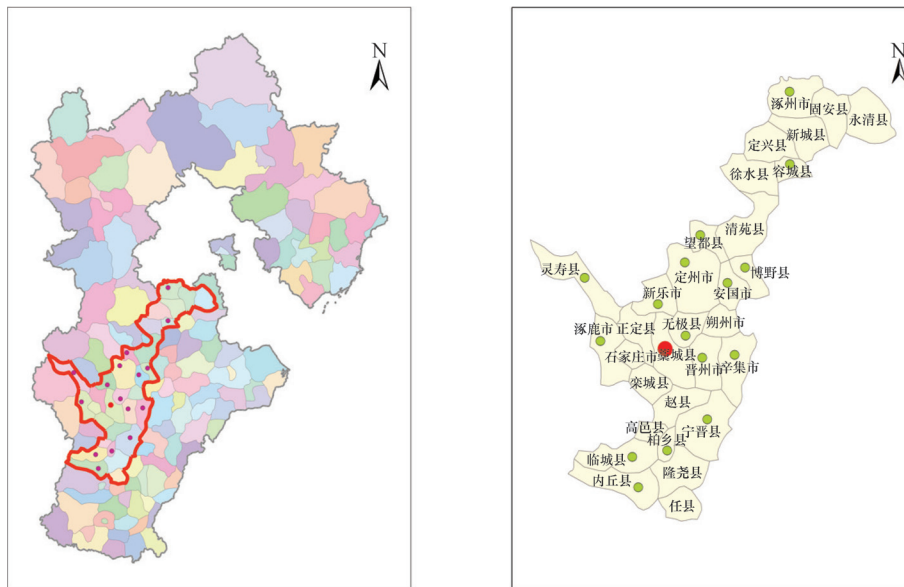
域30年间土壤养分的动态变化、氮磷钾的产量效应特点,揭示土壤养分消长对肥料产量效应的影响,为逐渐提高的耕地地力和作物持续高产下的氮磷钾科学管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤养分数据来源

本研究在分析河北省太行山山麓平原区1978年至2008年30年期间冬小麦-夏玉米轮作区的土壤养分变化特点时,共用到1978年(全国第二次土壤普查数据)、1993年(河北省土壤耕层养分变化与调控的数据)以及2005—2008年(全国

土配方施肥数据)等3个年代的数据库,选取3次土壤养分调查空间位置相一致的调查位点(GPS坐标相同),研究其土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾的等主要肥力指标的动态变化。本研究从该区域的35个县中筛选出17个代表性县,3个年代的代表性检测位点851个,其中,保定地区 $n=193$ ,代表性县分别为:涿州(23)、容城(10)、望都(14)、定州(102)、博野(10)、安国(34);石家庄地区 $n=401$ ,分别为灵寿(39)、新乐(53)、无极(59)、藁城(97)、涿鹿(43)、晋州(58)、辛集(52);邯郸和邢台地区 $n=257$ ,分别为宁晋(125)、柏乡(59)、临城(32)、内丘(41)(图1)。



左图为河北省行政区划图,红线区域为太行山山麓平原区,右图为太行山山麓平原区土壤养分测定点分布图

Left figure is the map of Hebei Province showing the piedmont plain of the Taihang Mountain with red lines. Right figure shows the experimental sites within the Piedmont Plain

图1 山麓平原土壤养分测定点分布图

Fig. 1 Distribution of soil nutrient monitoring sites in the Piedmont Plain of the Taihang Mountain

### 1.2 氮磷钾在冬小麦-夏玉米的产量效应定位试验

为了深入分析太行山山麓平原近30年间土壤养分变化对氮磷钾产量效应的影响,选取石家庄藁城市1996—1999年和2010—2012年两时段的田间肥料定位试验,以揭示土壤肥力变化对作物产量的影响。

试验地点:石家庄地区藁城市,位于太行山山麓平原区,38°00'N,114°50'E,暖温带半湿润大陆性季风气候,近10 a的年均日照2 711 h、气温12.5℃、降水量494 mm、蒸发量1 589 mm、无霜

期190 d。

供试土壤:潮褐土

1996—1999年肥料定位试验在栾阳镇靳庄村村东,土壤有机质10.99 g kg<sup>-1</sup>、全氮1.00 g kg<sup>-1</sup>、有效磷15.90 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾75.10 mg kg<sup>-1</sup>。2010—2012年在廉州镇石井村西南,土壤有机质16.88 g kg<sup>-1</sup>、全氮1.02 g kg<sup>-1</sup>、有效磷27.22 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾102.2 mg kg<sup>-1</sup>。

试验设计:两个时期的试验处理相同,氮磷钾施用量不同(表1),其中,处理1:全

表1 肥料定位试验的施肥量

Table 1 Fertilization rates in long-term field experiments (kg hm<sup>-2</sup>)

处理 Treatments	1996—1999						2010—2012					
	小麦 Wheat			玉米 Maize			小麦 Wheat			玉米 Maize		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
NPK	270	180	60	330	0	120	270	108	36	300	60	66
-N	0	180	60	0	0	120	0	108	36	0	60	66
-P	270	0	60	330	0	120	270	0	36	300	0	66
-K	270	180	0	330	0	0	270	108	0	300	60	0
1/2N	135	180	60	165	0	120	135	108	36	150	60	66
1/2P	270	90	60	330	0	120	270	54	36	300	30	66
1/2K	270	180	30	330	0	60	270	108	18	300	60	33

肥 (NPK), 处理2: -N (PK), 处理3: -P (NK), 处理4: -K (NP), 处理5: 1/2N (1/2NPK), 处理6: 1/2P (1/2P NK), 处理7: 1/2K (1/2K NP), 共7个处理, 3次重复, 随机区组排列。处理2, 3, 4分别为不施N, P, K, 其他同处理1。处理5, 6, 7分别将处理1中的N, P, K用量减半, 其他肥料用量不变。小区面积: 1996—1999年为33.35 m<sup>2</sup>、2010—2012年为99 m<sup>2</sup>。

肥料施用: 50%氮肥、全部的磷肥和钾肥做基肥施用, 播种前撒施后翻耕, 剩余的50%氮肥分别在夏玉米的大喇叭口期或小麦拔节期追施。

供试作物品种: 1996—1999年间夏玉米为: 1996、1997年掖单19号, 1998年农大108; 冬小麦为冀麦38。2010—2012年间夏玉米为浚单20, 冬小麦为冀优2108。

播期: 夏玉米为6月15日—20日, 收获期为9月29日—10月3日, 播种量37.5 kg hm<sup>-2</sup>, 基本苗60 000株hm<sup>-2</sup>。冬小麦为10月5日—8日, 来年6月10日—15日收获, 播种量187.5 kg hm<sup>-2</sup>, 基本苗360万株hm<sup>-2</sup>。

试验调查项目: 1996—1999年夏玉米、冬小麦均为小区全部收获后测产, 小麦秸秆还田, 玉米秸秆不还田。2010—2012年夏玉米、冬小麦测产面积分别为50 m<sup>2</sup>、25 m<sup>2</sup>, 小麦和玉米秸秆均还田。同时进行各生育期和产量构成因素调查, 籽粒和秸秆粉碎后分别用于养分指标的测定。

### 1.3 土壤养分测定方法

1978、1993、2005年三个时段土壤养分测

定方法相同, 其中, 土壤有机质采用重铬酸钾容量-外加热法、全氮半微量开氏法、有效磷 (Olsen-P) 采用0.5 mol L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>浸提钼锑抗比色法; 土壤速效钾 (交换性钾) 采用NH<sub>4</sub>OAc浸提-火焰光度法<sup>[19]</sup>。

### 1.4 数据处理

本文计算了藁城市1996—1999、2010—2012年两个时段的肥料定位试验中土壤氮磷钾收支表观平衡和土壤供氮、磷、钾的能力。其中, 计算氮素表观平衡时, 未考虑氮沉降、灌溉水输入、氨挥发、硝态氮淋溶等影响, 养分表观平衡和土壤供氮、磷、钾能力如下算式:

$$\text{表观平衡 (kg hm}^{-2}\text{)} = (\text{肥料} + \text{前茬作物秸秆}) \text{输入量} - \text{籽粒和秸秆输出量}$$

$$\text{表观平衡 (\%)} = ((\text{肥料} + \text{前茬作物秸秆输入量}) - (\text{籽粒和秸秆输出量})) \times 100 / \text{输出量}$$

$$\text{土壤供氮、磷、钾能力 (相对产量) (\%)} = \text{不施氮 (磷, 钾) 处理产量} \times 100 / \text{NPK处理产量}$$

数据采用SPSS软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 1978—2008年间太行山山麓平原土壤养分变化

河北省位于太行山山麓平原区的地市主要包括保定、石家庄、邢台和邯郸。本研究选取了土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾等指标, 通过对比1978、1993和2008年三个年代的变化以明确该区域30年间土壤养分的变化特点 (表2)。结

果表明：30年来土壤有机质、全氮、有效磷均显著增加，土壤速效钾则呈现前期降低而后又增加趋势。与1978年相比，1993年时土壤有机质、全氮、有效磷分别平均增加2.24 g kg<sup>-1</sup>、0.12 g kg<sup>-1</sup>、4.36 mg kg<sup>-1</sup>，与1993年比较，2008年时土壤有机质、全氮、有效磷分别平均增加5.43 g kg<sup>-1</sup>、0.19

g kg<sup>-1</sup>、13.41 mg kg<sup>-1</sup>；与1978年相比，1993年时土壤速效钾降低16.45 mg kg<sup>-1</sup>，与1993年比较，2008年时土壤速效钾又增加了13.40 mg kg<sup>-1</sup>。结果还表明，该区域土壤养分变化量主要发生在1993—2008年间，其中有机质、全氮、有效磷的增加量分别占30年间变化总量70.8%、60.0%、75.5%。

表2 太行山山麓平原近30年土壤养分动态变化

Table 2 Dynamics of soil nutrients in the piedmont plain of Taihang mountain during the last 30 years

项目 Items	有机质			全氮			有效磷 Available P			速效钾			
	O M (g kg <sup>-1</sup> )			Total-N (g kg <sup>-1</sup> )			(mg kg <sup>-1</sup> )			Available K (mg kg <sup>-1</sup> )			
	1978	1993	2008	1978	1993	2008	1978	1993	2008	1978	1993	2008	
保定 Baoding (193) <sup>1)</sup>	平均 Mean	9.38	10.88	15.82	0.59	0.64	0.77	6.08	14.96	31.03	98.02	74.81	94.82
	CV (%)	23.2	23.2	17.2	23.3	19.8	12.2	19.8	54.4	60.8	22.2	28.9	19.8
石家庄 Shijiazhuang (401)	平均 Mean	10.94	13.45	17.77	0.61	0.81	1.06	7.72	10.53	32.55	101.62	102.18	102.8
	CV (%)	19.2	20.3	12.5	37	60.8	14.7	60.4	54.2	24	36.6	62.3	16.6
邯郸-邢台 Handan -Xingtai (257)	平均 Mean	6.1	11.24	19.01	0.7	1.02	1.05	10.89	14.61	17.09	115.82	106.41	113.2
	CV (%)	80.6	52.1	30.2	31.3	21.4	14.4	24.9	24.2	12.2	37.1	40.9	20.4
平均 Mean	16.82	9.15	11.39	0.60	0.72	0.91	8.3	12.66	26.07	107.18	90.73	104.13	

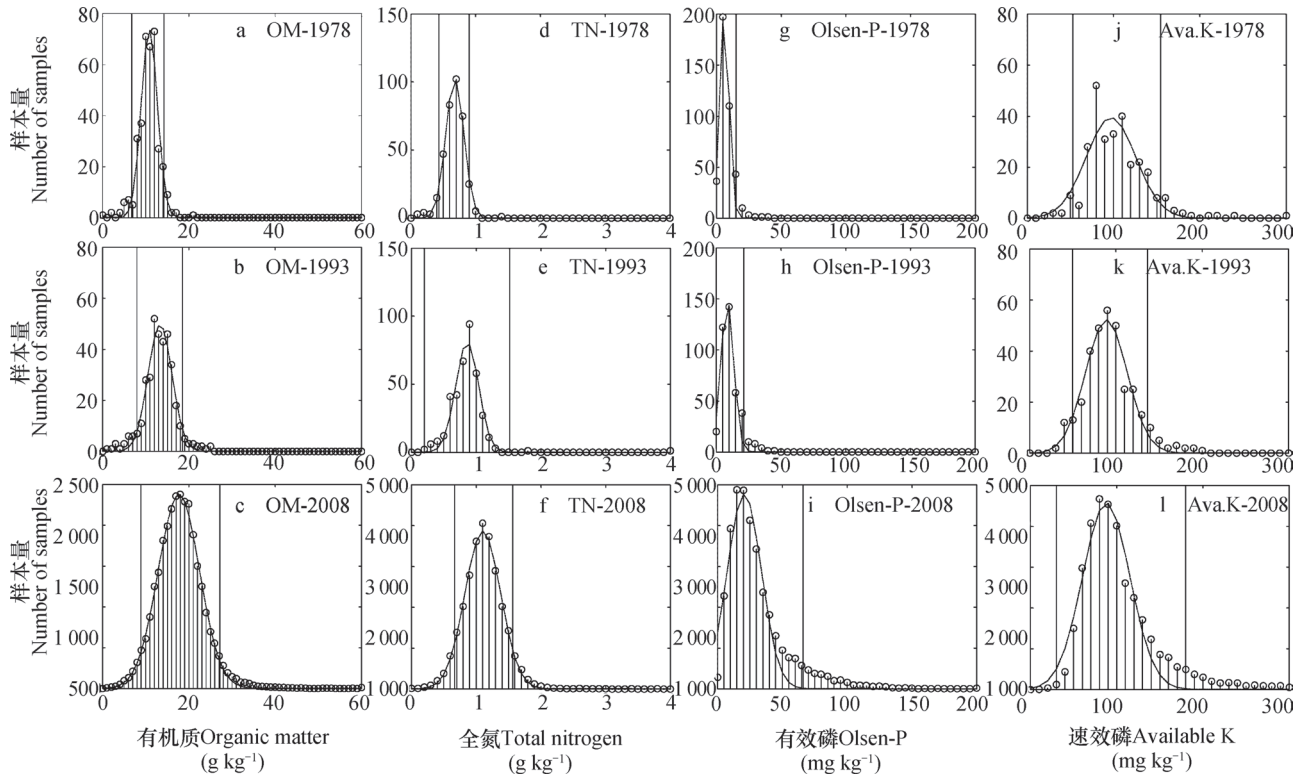
1) 样本量 Number of samples

为了深入分析近30年间太行山山麓平原土壤主要肥力指标的历史和空间变异特点，本文以石家庄市冬小麦-夏玉米轮作区的土壤为例对此进行了重点分析（图2）。由图2可知，30年间石家庄市土壤有机质含量的空间变异在1978、1993、2008年3个时期均符合高斯正态分布，但有机质的整体水平表现出明显的差异，例如，在1978、1993、2008年有机质大于20 g kg<sup>-1</sup>的样点分别占总样本总量的0.3%、3.3%、33.5%；10~20 g kg<sup>-1</sup>分别占66.7%、82.6%、61.2%；小于10 g kg<sup>-1</sup>分别占33.0%、14.1%、5.3%。由于不同位点之间的变异（标准方差）以2008年最高，因此，该区域土壤有机质的变异幅度正在逐渐加大。与之相似，30年间土壤全氮含量也在逐渐升高，且3个时期土壤全氮含量也呈现出典型的高斯分布，但在1993年

时变异最大，这表明在1978—1993年期间不同位点在土壤培肥过程的实施可能不完全一致，而又经过1993—2008约15 a的培肥时期，各位点之间的变异又开始逐渐减小，因此不同位点土壤全氮含量呈现出趋于相同的趋势。此外，该区域土壤有效磷表现出整体增加的趋势，例如，有效磷大于30 mg kg<sup>-1</sup>的位点数在1978、1993和2008年分别占总样本量的0.7%、2.7%、36.9%；20~30 mg kg<sup>-1</sup>分别占2.3%、7.2%、23.8%，介于10~20 mg kg<sup>-1</sup>之间分别占23.6%、38.1%、27.2%，小于10 mg kg<sup>-1</sup>分别占73.4%、52.0%、12.1%。3个监测时间土壤有效磷的含量分布不仅均呈现出明显的偏正态分布，且除了不同位点之间的变异也在逐渐增加之外，有效磷高含量位点数量的增加也高于高斯分布预期。土壤速效钾动态变化为：在1978和1993年，

该区域土壤速效钾的含量分布基本符合高斯正态分布，1978、1993、2008年3个时期大于150 mg kg<sup>-1</sup>分别占7.8%、4.1%、13.1%，100~150 mg kg<sup>-1</sup>分别占43.8%、31.5%、30%，50~100 mg kg<sup>-1</sup>分别

占45.2%、58.7%、54.2%，小于50 mg kg<sup>-1</sup>分别占3.2%、5.7%、2.7%。但在2008年，表现出与土壤有效磷变化相类似的现象，即高含量位点的增速也超过了高斯正态分布的预期，这也是导致土壤速效



虚线表示高斯分布曲线，“O”表示养分分布频率，两条黑线表示平均值±1.5标准差的样本分布情况

Dash lines indicate Gaussian distribution, “O” the frequency of soil nutrients distribution, solid lines indicate the range of soil nutrients within ±1.5 standard deviation

图2 石家庄市1978、1993、2008年土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量分布图

Fig. 2 Distribution of soil organic matter, total nitrogen, Olsen-P and available K in Shijiazhuang during 1978, 1993, 2008

钾空间变异进一步增大的驱动因素。

## 2.2 氮磷钾肥用量对土壤氮磷钾收支表观平衡的影响

石家庄地区藁城市是太行山山麓平原典型的小麦-玉米轮作区，该位点土壤肥力变化能准确反应该区域土壤养分动态特点，因此本研究通过分析该地区的1996—1999和2010—2012年两个时期肥料定位试验中的不同氮磷钾用量下土壤氮磷钾收支表观平衡状况，以揭示山麓平原区土壤养分消长原因。冬小麦-夏玉米试验期间氮磷钾输入与输出状况如表3所示，其中氮磷钾的最高施用量均按照当地的习惯施肥量来确定。结果表明：1996—1999年间小麦秸秆还田玉米秸秆不还田、2010—2012年小麦和玉米秸秆均还田，两个时期的习惯施氮量下氮素表观盈余量285.2 kg hm<sup>-2</sup>和236.2 kg hm<sup>-2</sup>，

分别占当年作物输出量（小麦和玉米秸秆吸收氮分别占地上部吸收总量的25.0%和46.3%）的59.5%和46.3%；1/2氮素处理中表观盈余仍占当季输出量的10.7%和3.0%。两个时期的习惯施磷量表观盈余26.3 kg hm<sup>-2</sup>和15.9 kg hm<sup>-2</sup>，分别占当季磷输出量（小麦和玉米秸秆吸收磷分别占地上部吸收总量的24.8%和38.4%）的26.2%和14.8%，1/2P则分别为亏缺-9.7%和-15.9%。两个时期的习惯施钾量表观盈余104.6 kg hm<sup>-2</sup>和36.9 kg hm<sup>-2</sup>，分别占当季钾输出量（小麦、玉米秸秆吸收钾分别占地上部吸收总量的76.7%和80.3%）的37.3%和12.4%，1/2K则分别为盈15.7%和2.1%。由此可见，太行山山麓平原氮磷钾施用量均不同程度地超过了作物需求量，从而导致了土壤氮磷钾含量逐渐升高。

表3 冬小麦-夏玉米轮作中土壤氮、磷、钾收支平衡状况

Table 3 The balance of soil N, P, K in the rotation of winter wheat-summer maize

年份 year	项目 Item	氮素平衡 N balance			磷素平衡 P balance			钾素平衡 K balance		
		NPK	1/2N	-N	NPK	1/2P	-P	NPK	1/2K	-K
1996— 1999	输入Input <sup>1)</sup> (kg hm <sup>-2</sup> )	764.9	427.5	70.4	127.0	83.4	37.6	385.4	295.6	203.4
	输出Output <sup>2)</sup> (kg hm <sup>-2</sup> )	479.7	386.2	210.8	100.7	92.3	78.8	280.8	255.6	236.7
	表观平衡(kg hm <sup>-2</sup> ) Apparent balance	285.2	41.3	-140.4	26.3	-8.9	-41.2	104.6	40	-33.3
	盈亏比例 <sup>3)</sup> (%) Percent of surplus	59.5	10.7	-66.6	26.2	-9.7	-52.3	37.3	15.7	-14.1
	利用率(%) Apparent recovery	49.8	65.0	—	12.2	15.0	—	24.5	11.1	—
	输入kg hm <sup>-2</sup> input	746.2	415.8	110.3	123.1	85.0	42.1	335.5	274.2	213.1
	输出kg hm <sup>-2</sup> output	510.0	403.7	341.6	107.2	101.0	88.1	298.6	268.5	247.9
2010— 2012	表观平衡(kg hm <sup>-2</sup> ) Apparent balance	236.2	12.1	-231.3	15.9	-16	-46	36.9	5.7	-34.8
	盈亏比例(%) Percent of surplus	46.3	3.0	-67.7	14.8	-15.9	-52.2	12.4	2.1	-14.0
	利用率% Apparent recovery	29.5	23.4	—	11.4	15.4	—	49.7	40.4	—

注：1) 输入养分包括作物秸秆养分，其中，1996—1999年小麦秸秆还田，玉米秸秆不还田，2010—2012年小麦和玉米秸秆均还田。2) 输出的养分包括秸秆，实际小麦秸秆输入给玉米，玉米季秸秆输入给小麦。3) 盈亏比例用表观平衡占输入的百分比来表示 Notes: 1) Input of NPK includes NPK in crop straw, and in 1996—1999, straw of winter wheat were returned to the fields and summer maize stalk was not, while in 2010—2012 both were returned to fields. 2) Nutrient output includes nutrients in crop residue and grains harvested. Actually, the nutrients in wheat straw were returned to summer maize fields through incorporation and those in maize stalk to winter wheat fields. 3) Percent of surplus was indicated with the ratio of Apparent balance to Input

### 2.3 土壤养分含量变化对氮磷钾产量效应的影响

通常，土壤肥力状况是影响氮磷钾产量效应的主要原因，本研究仍以藁城市土壤肥力不同的两个时期内作物产量对肥料响应的变化为例，以明确太行山山麓平原土壤肥力增加对肥料产量效应的影响。由表4可知，在1996—1999年间，在不施氮肥条件下(-N)，冬小麦和夏玉米的相对产量为NPK处理的51.4%和54.8%，而1/2N处理的产量相当于NPK处理产量的91.0%和85.4%。2010—2012年间，-N处理小麦和玉米相对产量提高到相当于NPK处理的89.3%和72.8%，而1/2N处理的小麦和玉米相对产量则分别为96.2%和77.3%。与1996—

1999年间相比，小麦相对产量略有提高，玉米产量则相对下降。在不施磷肥条件下，1996—1999年间，小麦和玉米的产量分别为NPK处理的83.9%和83.1%，2010—2012年-P处理小麦的相对产量与之前基本持平，而玉米的相对产量则提高了约7.1个百分点。两个时期的1/2K处理的小麦和玉米的相对产量也基本持平。在钾素供应能力上，除了-K处理在玉米季的相对产量略有下降外，其他处理的相对产量基本保持不变。由此可见，太行山山麓平原区土壤肥力的不断提高，已经导致了冬小麦和夏玉米的产量对肥料用量响应的日趋迟钝。



表4 不同时期氮磷钾在冬小麦和夏玉米上的产量效应(平均结果)

处理 Treatments	1996—1999				2010—2012			
	小麦产量 Wheat yield (kg hm <sup>-2</sup> )	相对产量 Relative yield (%)	玉米产量 Maize yield (kg hm <sup>-2</sup> )	相对产量 Relative yield (%)	小麦产量 Wheat yield (kg hm <sup>-2</sup> )	相对产量 Relative yield (%)	玉米产量 Maize yield (kg hm <sup>-2</sup> )	相对产量 Relative yield (%)
NPK	7 475a	100.0	9 041a	100.0	7 800a	100.0	9 792a	100.0
-N	3 840d	51.4	4 956d	54.8	6 968c	89.3	7 133c	72.8
-P	6 269c	83.9	7 515c	83.1	6 600c	84.6	8 832a	90.2
-K	7 066b	94.5	8 221b	90.9	7 534a	96.6	8 434b	86.1
1/2N	6 803b	91.0	7 724c	85.4	7 500b	96.2	7 571c	77.3
1/2P	7 098a	95.0	8 463b	93.6	7 651a	98.1	9 383a	95.8
1/2K	7 182a	96.1	8 837b	97.7	7 600a	97.4	9 214a	94.1

### 3 讨论

#### 3.1 土壤供肥能力对氮磷钾利用率的影响

本研究表明,在1978—2008年30年间,太行山山麓平原冬小麦-夏玉米轮作区土壤有机质、全氮、有效磷均显著提高,如藁城土壤有机质、有效磷和速效钾分别平均为16.82 g kg<sup>-1</sup>、26.07 mg kg<sup>-1</sup>、100.0 mg kg<sup>-1</sup>,较20世纪90年代中后期分别增加了5.83 g kg<sup>-1</sup>、10.17 mg kg<sup>-1</sup>、24.9 mg kg<sup>-1</sup>;且增幅最快的时期为1993—2008年,近15年增加量占30年间变化总量60.0%~75.5%。土壤速效钾在1978—1993年期间逐渐降低,而在1993年之后随着秸秆还田工程实施土壤速效钾逐渐增加<sup>[16]</sup>。通常随着土壤氮、有效磷、速效钾的增加土壤养分供应能力也在逐渐增加<sup>[15, 20]</sup>,至2012年,与1996—1999年间比较,该区域土壤供氮、磷、钾能力在冬小麦茬口分别增加37.9、0.7、2.1个百分点,玉米茬口分别增加18.0、7.1、-4.8个百分点,至于后期土壤供钾能力的降低与玉米品种、产量水平、土壤速效钾含量及施钾量低等因素有关。

土壤养分含量变化不仅影响土壤供氮、磷、钾的能力,同样影响着氮、磷、钾肥的养分利用效率。朱兆良<sup>[13]</sup>总结了20世纪80年代小麦田土壤供氮能力为45%~48%,1998年我国主要粮食作物氮、磷、钾肥的利用率分别为30%~50%、15%~20%、35%~50%<sup>[14]</sup>。张福锁等<sup>[10]</sup>总结2001—2005年河北和天津区域89个冬小麦、82个夏玉米试验的氮、磷、钾肥利用率,冬小麦上N、

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O平均用量204、120、102 kg hm<sup>-2</sup>,产量水平6 100~6 370 kg hm<sup>-2</sup>,氮、磷、钾肥当季利用率分别为16.4%、10.1%、35.9%,玉米上N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O平均用量171、110、119 kg hm<sup>-2</sup>,产量水平5 100~6 710 kg hm<sup>-2</sup>,氮、磷、钾利用率分别为26.3%、12.6%、32.4%。闫湘等<sup>[21]</sup>统计2002—2005年全国165个田间试验结果为:中国主要粮食作物(小麦、水稻、玉米)的氮、磷、钾当季利用率平均28.7%、13.1%、27.3%。纵观近30年我国氮磷在冬小麦、夏玉米上产量效应,氮磷养分利用率在逐年下降,其主要原因土壤供肥能力逐渐增加,作物对氮、磷肥的响应逐渐减弱,而目前肥料用量未减。这与藁城两个地力水平下的冬小麦和夏玉米的利用率差异相类似,如2010—2012年间冬小麦-夏玉米轮作周期内NPK处理氮、磷、钾肥利用率分别为29.5%、11.4%、49.7%,与1996—1999年时的氮磷钾利用率49.8%、12.2%、24.5%相比,氮肥利用率降幅最大,达到20.3个百分点;此外,磷肥利用率略有下降,但钾肥的利用率则提高了25个百分点,这主要是由于2010—2012年试验期间磷肥和钾肥用量下降所致(表1)。

#### 3.2 高土壤肥力现状下合理施肥量确定方法探讨

上述分析表明土壤肥力水平下是影响肥料产量效应的重要因素,如何确定合理推荐施肥量是实现作物高产高效、肥料利用率提高、环境风险降低的决定性因素。随着土壤肥力的逐年提高,确定合理推荐施肥量的技术也在不断变化。20世纪80年代土壤肥力水平普遍较低,推荐施肥量的理

论与技术主要基于目标产量估算施肥量或通过肥料效应函数计算经济合理施肥量<sup>[3-4]</sup>。近年来,由于土壤氮、磷、钾输入量远高于作物输出量<sup>[10-11]</sup>,土壤氮磷钾逐渐积累导致供肥能力随之增加,肥料的增产效应降低,肥料产量效应曲线的曲率变小,因此,由肥料效应函数计算出的经济最佳或经济合理施肥量的数值偏高<sup>[22]</sup>。针对这一问题陈新平等<sup>[23]</sup>提出用直线+平台或二次式+平台拟合肥料效应函数,并以此效应函数计算推荐施肥量。目前测土配方施肥项目中,仍采用一元、二元或三元二次肥料效应函数拟合“3414”试验中的肥料产量效应<sup>[24]</sup>,并由此计算推荐施肥量。藁城市肥料定位试验结果也证实了冬小麦和夏玉米对氮磷钾肥的产量响应逐渐减弱,综合考虑土壤肥力水平对肥料产量效应的弱化影响及其土壤养分动态变化,2010—2012年间该区域冬小麦-夏玉米轮作中N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O推荐用量分别为385.5~435.0、27~54、30~45 kg hm<sup>-2</sup>,这比土壤肥力相对较低时的1996—1999年间的推荐用量450~500、135~150、90~135 kg hm<sup>-2</sup>均有大幅度降低<sup>[12]</sup>,尤其体现在磷用量的大幅度降低,尤其建议玉米茬口降低磷肥用量;由于该区域自90年中期一直实施秸秆还田,基于本项目研究结果小麦、玉米秸秆还田的钾分别占地上部吸收钾的76.7%和80.3%,因此在小麦茬口钾肥的推荐用量有较大幅度降低。关于2010—2012年不施氮(或磷、钾)处理产量明显高于1996—1999年,主要原因是由于目前土壤地力水平普遍提高,因此土壤地力产量增加。当然,不同时段供试的小麦和玉米品种不一致,也是影响氮磷钾产量效应的重要因素。

## 4 结 论

近30年间,太行山山麓平原土壤有机质、有效磷分别增加45.6%、214.1%,近15年的增加量占30年间变化总量70.8%、75.5%。1978—1993年土壤速效钾呈递减趋势,1993—2008年呈逐渐增加的趋势。施肥是导致土壤有机质、有效磷和速效钾变化时空变异的主要原因,30年间该区域土壤有机质、有效磷和速效钾的空间变异逐渐增加,土壤全氮的空间变异在逐渐缩小。土壤供肥能力随着土壤养分含量的增加而增加,较1996—1999年间,

冬小麦上土壤供氮、磷、钾能力分别增加37.9、0.7、2.1个百分点,夏玉米上土壤供氮、磷能力分别增加18.0、7.1个百分点,供钾能力降低4.8个百分点。目前该区域土壤养分管理原则为控氮减磷适量补钾的原则。

致 谢:感谢唐山市丰南区土肥站王贵政研究员做土壤养分分布点图。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 曹宁,陈新平,张福锁,等.从土壤肥力变化预测中国未来磷肥需求,土壤学报,2007,44(3):536—543. Cao N, Chen X P, Zhang F S, et al. Prediction of phosphate fertilizer demand in China based on change in soil phosphate fertility (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(3): 536—543
- [ 2 ] 王重廉,赵振勋等.河北省第二次土壤普查数据集:未发表资料.1990. Wang Z L, Zhao Z X, et al. The second soil survey dataset for Hebei Province: unpublished data (In Chinese). 1990
- [ 3 ] 陈伦寿,李仁岗.农田施肥原理与实践.北京:中国农业出版社,1984. Chen L S, Li R G. The principle and practice of applying fertilizer on cropland (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1984
- [ 4 ] 李仁岗.肥料效应函数.北京:中国农业出版社,1986. Li R G. Function of the yield response of crops to fertilizer (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1986
- [ 5 ] 林葆,林继雄,李家康.长期施肥的作物产量和土壤肥力变化.植物营养与肥料学报,1994,1:6—18. Lin B, Lin J X, Li J K. The changes of crop yield and soil fertility with long-term fertilizer application (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1994, 1: 6—18
- [ 6 ] 沈善敏,廉鸿志,张璐,等.磷肥残效及农业系统养分循环利用中长期试验.植物营养与肥料学报,1998,4(4):339—344. Shen S M, Lian H Z, Zhang L, et al. A long-term field trial on residual effect of phosphorus and on the use of recycled nutrients in a farming system (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(4): 339—344
- [ 7 ] 鲁如坤,刘宏宇,闻大中,等.我国典型地区生态系统养分循环和平衡研究V.农田养分平衡和土壤有效磷、钾消长规律.土壤通报,1996,27(6):241—242. Lu R K, Liu H Y, Wen D Z, et al. Nutrients cycle and balance in Chinese typical farm land biological system V. The balance of nutrients in farm land the

- law of increase or decrease of avail P and avail K (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1996, 27 (6): 241—242
- [ 8 ] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方6省农田养分平衡状况评价和动态变化研究. *中国农业科学*, 2000, 33 (2): 63—67. Lu R K, Shi Z Y, Shi J P. Nutrient balance of agroecosystem in six provinces in southern China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33 (2): 63—67
- [ 9 ] 黄绍敏, 宝德俊, 黄甫湘荣, 等. 长期施肥发展潮土磷素利用与积累的影响. *中国农业科学*, 2006, 39 (1): 102—108. Huang S M, Bao D J, Huangfu X R, et al. Effect of long-term fertilizer on utilization and accumulation of phosphorus nutrient in Fluvo-Aquic soil (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39 (1): 102—108
- [ 10 ] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 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): 916—924. Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45 (5): 916—924
- [ 11 ] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡. *中国农业科学*, 2011, 44 (20): 4207—4229. Li S T, Jin J Y. Characteristics of nutrient input/output and nutrition balance in different regions China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (20): 4207—4229
- [ 12 ] 刘建玲, 李仁岗, 廖文华, 等. 河北粮田和菜地土壤大、中、微量元素肥力研究. *土壤学报*, 2009, 46 (4): 652—661. Liu J L, Li R G, Liao W H, et al. Macro-, meso- and micro-nutrients in soils of cropland and vegetable field in Hebei (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 (4): 652—661
- [ 13 ] 朱兆良. 中国土壤氮素研究. *土壤学报*, 2008, 45 (5): 778—783. Zhu Z L. Research on soil nitrogen in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45 (5): 778—783
- [ 14 ] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12 (1): 1—4. Zhu Z L. On the methodology of recommendation for the application rate of chemical fertilizer nitrogen to crops (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 2006, 12 (1): 1—4
- [ 15 ] 谭德永, 金继运, 黄绍文, 等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响. *中国农业科学*, 2007, 40 (1): 133—139. Tan D Y, Jin J Y, Huang S W, et al. Effect of long-term application of K fertilizer and wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting system (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40 (1): 133—139
- [ 16 ] 贾文竹, 赵振勋. 河北省土壤耕层养分变化与调控. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. Jia W Z, Zhao Z X. The control and change of soil nutrient in topsoil (In Chinese). Beijing: China Science & Technology Press, 1995
- [ 17 ] 陈敏鹏, 陈吉宁. 中国区域土壤表观氮磷平衡清单及政策建议. *环境科学*, 2007, 28 (6): 1305—1310. Chen M P, Chen J N. Inventory of regional surface nutrition balance and policy recommendations in China (In Chinese). *Environmental Science*, 2007, 28 (6): 1305—1310
- [ 18 ] 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. Zhao R F, Chen X P, Zhang F S. Nitrogen cycling and balance in winter-wheat-summer-maize rotation system in Northern China plain (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 (4): 684—697
- [ 19 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2001. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 2001
- [ 20 ] 孔宏敏, 何圆球, 吴大付, 等. 长期施肥对红壤旱地作物产量和土壤肥力的影响. *应用生态学报*, 2004, 15 (5): 782—786. Kong H M, He Y Q, Wu D F, et al. Effect of long term fertilizer on crop yield and soil fertility of upland red soil (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (5): 782—786
- [ 21 ] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展. *中国农业科学*, 2008, 41 (2): 450—459. Yan X, Jin J Y, He P, et al. Recent advances and prospects on the technology to increase fertilizer use efficiency (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41 (2): 450—459
- [ 22 ] Liu J L, Liao W L. Effect of phosphate fertilizer and manure on crop yield, soil P accumulation, and the environmental risk assessment. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 6 (9): 1107—1114
- [ 23 ] 陈新平, 周金池, 王兴仁, 等. 小麦-玉米轮作制中氮肥效应模型的选择-经济和环境效益分析. *土壤学报*, 2000, 37 (3): 346—353. Chen X P, Zhou J C, Wang X R, et al. Economic and environmental evaluation on model for describing crop yield response to nitrogen fertilizer at winter-wheat and summer-corn rotation system (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37 (3): 346—353
- [ 24 ] 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 等. 应用“3414”试

验建立冬小麦测土配方施肥指标体系. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (1): 197–203. Sun Y X, Guo Y S, Yu S Z, et al. Establishing phosphorus and potassium fertilization recommendation index based on

the “3414” field experiment (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15 (1): 197–203

## CHANGES OF SOIL NUTRIENTS AND SUPPLY CAPACITIES IN THE PIEDMONT PLAIN OF TAIHANG MOUNTAIN DURING THE PERIOD OF 1978—2008

Liu Jianling<sup>1</sup> Jia Ke<sup>1, 2</sup> Liao Wenhua<sup>1</sup> Gao Zhiling<sup>2</sup> Lü Yinghua<sup>3</sup> Jia Wenzhu<sup>3</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

(2 Sino-Arab Chemical Fertilizers Company Limited, Qinhuangdao, Hebei 066003, China)

(3 Hebei Provincial Department of Agriculture Soil and Fertilizer Station, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract** With the termination of national soil test and recommendation initiated in 2005, it is indicated that soil fertility has been improved in different magnitude, especially in the soil phosphorus. Therefore, how to determine reasonable fertilization rates under different soil fertility conditions has become an important issue to maintain or increase yield yet reduce the respective environmental risks. In this study, to examine the current soil fertility, total sampling sites of 851, across 17 counties in the piedmont plain around Taihang Mountain during 2005—2008 (national soil test and recommendation), were determined, where 193 sites were located in Baoding, 401 sites in Shijiazhuang and 257 sites in Handan-Xingtai area. To examine the dynamic changes of soil nutrients of winter wheat-summer maize rotations in the piedmont plain of Taihang Mountain in Hebei Province, historical parameters of soil organic matter (OM), soil total nitrogen (TN), Olsen-P and soil available K in the databases established in 1978 (the second nation soil survey) and 1993 (Changes and control of the arable land top layer in Hebei Province) were extracted. Although the research target of above databases in different period diversified, but large number of investigated sites had same global coordinates, which represented 50% of the total counties within this region. Therefore, the historical correlation between soil nutrient elements and soil fertility can be evaluated. In addition, in order to evaluate the impacts of the changes of soil nutrients on the yield responses of winter wheat and summer maize to the N, P and K fertilization rates, two field experiments during 1996—1999 and 2010—2012 located in the Gaocheng, Shijiazhuang (38°00'N, 114°50'E), a typical winter wheat and summer maize area in the piedmont plain, were selected. of these two experiments, seven treatments including NPK, -N (PK), -P (NK), -K (NP), 1/2N (1/2NPK), 1/2P (1/2P NK) and 1/2K (1/2K NP) were carried out, where the -N, -P and -K indicated no respective N, P and K fertilizer applied, and 1/2N, 1/2P and 1/2K indicated the application rate of N, P and K were 50% of the respective amount in NPK treatment.

Results show that, from 1978 to 2008, the soil organic matter (OM), total nitrogen (TN) and Olsen-P were increased by 7.67 g kg<sup>-1</sup>, 0.31 g kg<sup>-1</sup> and 17.77 mg kg<sup>-1</sup>, respectively, where the changes during the period of 1993—2008 accounted for 70.8%, 60.0% and 75.5% of their respective totals in 1978—2008. However, soil available K declined by 16.45 mg kg<sup>-1</sup> during 1978—1993 but was characterized with an increase of 13.40 mg kg<sup>-1</sup> during 1993—2008. Meanwhile, spatial variability of OM, Olsen-P and readily available K increased but decreased for TN. In addition, the relative yield productions of -N treatment for winter wheat and summer maize during 1996—1999 were 51.4% and 54.8% of the NPK treatments, respectively, and the relative yields of 1/2N treatments were 91.0% and 85.4% of the NPK treatments,

respectively. After about 10-year excessive N application, the relative yields of -N treatments were increased to 89.3% and 72.8% for winter wheat and summer maize, and the relative yields of 1/2N treatments were also increased to 96.2% and 77.3%. For P treatments, the relative yields of winter wheat and summer maize in -P and 1/2P during 1996—1999 were similar to the respective treatment in second experiment. For K treatments however, only the yield reduction was found in the -K treatment between two experimental periods. In conclusion, excessive fertilization in combination with the return of crop residuals during the last three decades has increased the supply capacities of N, P and K in this region, and as a consequence, crop yield response to the N, P and K fertilization is getting less significant and the fertilizer use efficiencies are declining.

**Key words** The piedmont plain; Winter wheat-summer maize rotation; Soil nutrient supply capacity; Dynamic change of soil nutrients; Yield response

(责任编辑：汪枫生)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

- Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system..... Zhao Yanfeng, Cheng Daoquan, Chen Jie, et al. ( 1207 )  
 Advancement in study on effect of earthworm on greenhouse gas emission in soil and its mechanism ..... Lu Mingzhu, Lü Xianguo, Guan Qiang, et al. ( 1224 )

**Research Articles**

- Vertical distributions of soil organic and inorganic carbon and their controls along toposequences in an alpine region ..... Yang Fan, Huang Laiming, Li Decheng, et al. ( 1235 )  
 Effect of grain size on and correlation analysis of pedodiversity and surface water body diversity in counties typical of Central and East China ..... Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei ( 1249 )  
 Spatial-temporal variability of soil readily available nutrients in cultivated land of Weibei Tableland Area ..... Yu Yang, Zhao Yeting, Chang Qingrui ( 1260 )  
 Hyperspectral estimation and remote sensing retrieval of soil water regime in the Yellow River Delta ..... Li Ping, Zhao Gengxing, Gao Mingxiu, et al. ( 1271 )  
 Effect of wet-dry alternation on loess disintegration rate ..... Wang Jian, Ma Fan, Zhang Penghui, et al. ( 1278 )  
 Experiment and simulation of infiltration from layered soils in open pit mine in Jin-Shaan-Meng adjacent region ..... Wu Qifan, Fan Jun, Yang Xiaoli, et al. ( 1289 )  
 Anaerobic redox of iron oxides and photosynthetic oxidation of ferrous iron in upland cinnamon soils ..... Sun Lirong, Wang Xugang, Xu Xiaofeng, et al. ( 1299 )  
 Study on effect of kaolinite colloids on zeta potential of Al oxide coated quartz with streaming potential method ..... Li Zhongyi, Xu Renkou ( 1309 )  
 Nitrogen use efficiencies of major grain crops in China in recent 10 years ..... Yu Fei, Shi Weiming ( 1324 )  
 Changes of soil nutrients and supply capacities in the piedmont plain of Taihang Mountain during the period of 1978–2008 ..... Liu Jianling, Jia Ke, Liao Wenhua, et al. ( 1334 )  
 Spatial variation of ecological stoichiometry of soil C, N and P in a small hilly watershed in subtropics of China ..... Yang Wen, Zhou Jiaogen, Wang Meihui, et al. ( 1343 )  
 Stoichiometric characteristics of soil in an oasis on northern edge of Tarim Basin, China ..... Li Honglin, Gong Lu, Zhu Meiling, et al. ( 1354 )  
 Distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors ..... Dai Huimin, Gong Chuandong, Dong Bei, et al. ( 1364 )  
 Study on phytolith-occluded organic carbon in soil of subtropical forest of southern Zhejiang ..... Lin Weilei, Ying Yuqi, Jiang Peikun, et al. ( 1372 )  
 Toxic effect of multiple-time overlying pollution of Phe in soil on *Eisenia fetida* ..... Ma Jingjing, Qian Xinchun, Zhang Wei, et al. ( 1381 )  
 Effect of organic manure on cucumber Fusarium wilt control and its mechanism ..... Zhao Liya, Li Wenqing, Tang Longxiang, et al. ( 1390 )  
 Ameliorative effect of cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation on soil enzymes activities in takyric solonetz ..... Zhang Tibin, Kang Yaohu, Wan Shuqin, et al. ( 1399 )  
 Change in shallow soil temperature and its response to change in air temperature in middle and lower reaches of Shiyang River Basin ..... Yang Xiaoling, Ding Wenkui, Ma Zhonghua, et al. ( 1410 )  
 Soil permeability of aeration zone in Xinchang-Xiangyangshan - a preselected site for high level radioactive waste disposal ..... Li Jiebiao, Su Rui, Zhou Zhichao, et al. ( 1420 )

**Research Notes**

- Inversion of spatial pattern of organic matter contents in black soil based on TM data ..... Song Jinhong, Wu Jinggui, Zhao Xinyu, et al. ( 1429 )  
 Analysis of soil fertility and fertilizer efficiency of maize field in Shaanxi ..... Shan Yan, Li Shuili, Li Ru, et al. ( 1437 )  
 Application of cosmic-ray method to soil moisture measurement of grassland in the Loess Plateau ..... Zhao Chun, Yuan Guofu, Liu Xiao, et al. ( 1444 )

**Cover Picture:** Reclamation of a highly saline-sodic wasteland of takyric solonetz while cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation ( by Zhang Tibin )

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第52卷 第6期 2015年11月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 6 Nov., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路71号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京399信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

