

黄淮海平原封丘县土壤肥力变异与农田生产力相关研究^①

孙叶林, 刘勤*

(中国科学院南京土壤研究所常熟农业生态国家实验站, 南京 210008)

摘要: 通过对黄淮海平原封丘地区土壤肥力现状及其与农田生产力相关性研究, 结果表明, 区域潮土的肥力质量得到普遍提高, 土壤有机质、全 N、速效 P 等养分含量得到显著增加, 而土壤速效 K 含量显著降低。土壤肥力、农田管理措施与玉米产量的灰色关联分析表明, 土壤肥力对玉米产量的影响大于农田管理措施, 土壤肥力因素中, 全 N、速效 P 和碱解 N 的影响较大; 农田管理措施中, 以灌溉次数对玉米单产的影响较大。这为区域农田土壤质量研究、管理和政策决策提供了科学依据。

关键词: 土壤肥力; 农田管理; 生产力; 灰色关联

中图分类号: S158

黄淮海平原是我国的主要粮食生产区之一, 在我国粮食安全中具有重要的地位。20 世纪五、六十年代的盐碱、旱涝地, 经过人们多年的培肥改良, 土壤肥力已得到了明显提高; 加之优良作物品种的推广、灌溉面积的扩展和化肥的大量施用, 区域农田生产力得到大幅提高, 粮食产量由 50 年代的 0.8 t/hm² 上升到 9 t/hm² 左右^[1-3]。但近年来, 由于农民盲目追求高产, 大量施用化肥, 尤其是 N 肥, 不但不能实现高产目的, 而且产生了一系列生态环境问题^[4-5]。因此, 研究当前农田高度集约化种植下, 潮土肥力质量的空间变异规律, 探明空间田块尺度上农田土壤养分水平、农田管理措施对作物产量的影响规律, 为区域土壤肥力的定向培育, 实现农田精确管理, 达到持续高产、稳产, 具有重要的理论和实践意义。

1 材料与方 法

1.1 研究区域概况

以黄淮海平原中部的河南省封丘县为研究区域。封丘地区属半干旱、半湿润暖温带大陆性季风气候, 年平均气温 13.9℃, 年平均降水量 615.1 mm, 年际变化大, 年蒸发量约 1875 mm, 无霜期 214 天, 光热资源丰富。全县地势较平坦, 东、南紧邻黄河, 水资源较充足。土壤主要为黄河沉积物发育的黄潮土, 作物以小麦-玉米一年两熟制为主。

1.2 样品采集与分析方法

参照 1983 年土壤普查时剖面样点分布, 在全县 22 个乡镇 51 个村范围内, 在原乡、村和土壤类型田块

采集, 采样时间为 2006 年 9 月玉米采收期。共采集了 65 个 0~20 cm 耕层旱地土壤样, 当时的种植作物包括玉米 58 块、花生 3 块、金银花 2 块、红薯 1 块、棉花 1 块。每一样品为同一田块 8~10 个土钻样经混合后组成, 每样点 GPS 定位。采样同时, 测量每块田玉米株行距, 计算播种密度, 每块田随机采收 5~8 株地上部秸秆和穗部, 计算地上部秸秆生物量和籽粒产量, 同时作为养分分析样。采样同时, 向农户问卷调查所采田块基本农田管理情况。主要包括: 农户对土壤肥力和产量的基本判断, 近 3~5 年土地利用方式和种植制度的变化, 每季作物施肥品种、时期和数量, 灌溉与否及灌溉时间, 农药使用次数和时间, 近 3~5 年产量等。土壤和植株样品养分分析采用常规方法^[6]。灰色系统关联分析方法参见《灰色系统基本方法》^[7]。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力质量的时空变异

土壤是作物生产的基础, 因此土壤肥力高低对作物产量具有重要意义。经过 20 多年的人为耕作、施肥等管理, 研究区域土壤肥力质量发生了显著变化。表 1、表 2 分别是 1983 年土壤普查和 2006 年采集样品的土壤肥力变异状况。结果表明, 第二次土壤普查时土壤有机质平均为 7.83 g/kg, 变异范围在 2.35~18.69 g/kg; 全 N 平均为 0.55 g/kg, 变异范围在 0.18~0.94 g/kg。经过 20 多年的农业耕作和改良, 昔日盐碱和低产田已不复存在, 土壤肥力质量有了显著的提升。与

①基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2005CB121107) 和中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3-SW-435) 资助。

*通讯作者 (qliu@issas.ac.cn)

作者简介: 孙叶林 (1983—), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 主要从事农田生态系统养分循环研究。E-mail: ylsun@issas.ac.cn

1983 年相比，土壤有机质增加了近一倍，土壤全 N 增加了 165%，土壤有机质和全 N 的最高值和最小值也有了显著增加，同时变异系数显著降低。这表明全县土壤肥力质量得到普遍提高，高肥力田块增多，低肥力田块减少，这就为农田作物生长、养分吸收利用提供了重要的土壤基础，保障了区域农田生态系统生产力的稳定性。土壤 P、K 营养方面，第二次土壤普查中，土壤速效 P 平均为 3.16 mg/kg，目前土壤有效 P 平均值为

7.01 mg/kg，也得到了显著的提高，但基本低于 10 mg/kg。土壤速效 K 含量显著降低，平均值从 147.89 mg/kg 下降到 98.77 mg/kg，降低了 33%，幅度较大。

多个样点的平均值反应了养分指标总体状况，为了进一步了解土壤肥力的变化规律，我们对土壤养分指标进行分级。为了与 1983 年的评价标准保持一致，故采用当时的全国土壤养分分级标准，计算各样点在不同级别中的比例，结果见表 3。

表 1 第二次土壤普查（1983 年）土壤肥力变异^①

Table 1 Soil fertility variation in 2nd national soil survey in 1983

特征值	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	速效 K (mg/kg)	速效 P (mg/kg)
平均值	7.83	0.55	147.89	3.16
最大值	18.69	0.94	362.75	48
最小值	2.35	0.18	48.15	0.078

表 2 2006 年监测样点土壤肥力变异

Table 2 Soil fertility variation at monitoring spots in 2006

特征值	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	速效 K (mg/kg)	速效 P (mg/kg)
平均值	8.43	13.89	1.46	0.72	98.77	7.01
最大值	8.86	21.48	4.13	1.26	168.83	21.67
最小值	7.95	5.40	0.66	0.24	41.99	3.50
标准差	0.189	2.963	0.565	0.185	27.965	3.434
变异系数	0.022	0.213	0.389	0.257	0.283	0.490

表 3 土壤养分含量变化分级比较

Table 3 Classification comparison of soil nutrient contents

养分	年份	极高	高	中上	中下	低	极低
有机质 (g/kg)		>40	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	6 ~ 10	<6
	1983				12.76	71.56	15.71
	2006			1.89	88.68	9.43	
全 N (g/kg)		>2	1.5 ~ 2	1 ~ 1.5	0.75 ~ 1	0.5 ~ 0.75	<0.5
	1983				6.7	47.1	46.3
	2006			3.8	47.2	39.6	9.4
碱解 N (mg/kg)		>150	120 ~ 150	90 ~ 120	60 ~ 90	30 ~ 60	<30
	1983		1.7	2.6	7.4	80.9	7.9
	2006			9.4	67.9	20.8	1.9
速效 P (mg/kg)		>17.5	8.7 ~ 17.5	4.36 ~ 8.7	2.18 ~ 4.36	1.3 ~ 2.18	<1.3
	1983		3.1	17.4	33.1	22.5	24
	2006	1.5	22.7	57.6	18.2		
速效 K (mg/kg)		>166	125 ~ 166	83 ~ 125	41.5 ~ 83	25 ~ 41.5	<25
	1983		30.7	33.9	32.1	3.3	
	2006	1.5	15.2	53.0	30.3		

① 封丘土壤。1984（内部资料）。

从表 3 可知, 经过 20 多年, 农田土壤有机质处于低级别的比例从 71.56% 下降到 9.43%, 而中下的从 12.76% 显著增加到 88.68%, 且还有一些中上。土壤全N和碱解N中处于极低的比例显著减少, 而中下比例显著增加。土壤速效P含量与 1983 年相比, 占 45% 的低和极低已没有, 而中上和高的比例从 17.4% 和 3.1% 增加到 57.6% 和 22.7%。说明严重缺P土壤 (Olsen P < 5%) 已从总量的 80% 下降到今天的不到 20%^[8], 缺P临界土壤占多数, 表明多年P肥施用及秸秆还田等措施的实施对土壤P的增加及土壤肥力的提高起到了十分明显的作用。而土壤速效K含量变化则相反, 中下的比例从 1983 年的 3.3% 增加到 30.3%, 高和极高的比例也显著下降, 中上比例则显著增加, 较大可能缺K的土壤比例已达 51.5%。这是由于人们一直认为潮土K丰富, 不需要施K造成的。我们的研究表明, 全县土壤全K平均 16.9 g/kg, 变异范围 13.9 ~ 21.1 g/kg, 缓效K平均 576.3 mg/kg, 变异范围在 218.8 ~ 942.4 mg/kg, 都处于较高水平^[9]。自然条件下, 土壤K库中K的固定和释放受土壤结构、pH、施肥、温度、干湿等的影响, 溶液中的K和交换性K转化很快, 在几分钟内即完成, 而交换性K与非交换性K (缓效K) 的转化较慢, 一般需数天或数月才能完成^[10], 因此在作物生产期间, 如土壤速效K长期不能得到补充, 必然引起作物的缺K, 影响作物产量。黄淮海平原地区, 目前情况下土壤已处于缺K的临界状态, 要保障农田的持续高产和稳产, 必须考虑作物生产期施用适量K肥, 补充土壤速效K库。

2.2 土壤肥力和农田管理措施等因素与玉米产量的灰色关联度分析

土壤肥力、耕作管理、气候等诸多因素影响农田生态系统作物生产力。目前黄淮海平原农民大量施用化肥, 已引起了硝酸盐在土壤剖面的淋洗和在地下水中的累积^[11]。从粮食生产和保护环境等方面, 在目前的耕作、施肥和水管理综合系统作用下, 找出区域农田影响产量的主控因子显得尤为重要, 通过灰色系统的关联度分析来寻求各因子与产量的关联度已经被普遍运用^[12]。我们将速效K、缓效K、速效P、碱解N、全N、全K、全P、有机质、阳离子交换量和土壤类型 (两合土、淤土和砂土) 作为土壤因子, 同时考虑一些常规农田管理措施包括秸秆还田年份、玉米当季灌溉次数、是否施用农家肥和复合肥作为因子, 用灰色系统关联分析法分别与产量进行关联, 计算结果见表 4。

表 4 土壤肥力指标、农田管理措施与玉米产量的关联度分析

Table 4 Grey correlation between soil fertility index, farmland management measures and corn yield

影响因子	标记	影响排序	与产量的关联度
速效 K	r1	7	0.7522
缓效 K	r2	6	0.7691
速效 P	r3	1	0.8079
碱解 N	r4	2	0.7850
全 N	r5	3	0.7827
全 K	r6	5	0.7763
全 P	r7	8	0.7458
有机质	r8	4	0.7773
阳离子交换量	r9	11	0.7082
还田年数	r10	12	0.5590
灌溉次数	r11	10	0.7197
土壤类型	r12	9	0.7406
有无复合肥	r13	13	0.4395

表中结果从大到小排序为: 速效P > 碱解N > 全N > 有机质 > 全K > 缓效K > 速效K > 全P > 土壤类型 > 灌溉次数 > 阳离子交换量 > 秸秆还田年数 > 有无复合肥, 上述关联度次序表明: 土壤肥力因素中, 速效P对玉米单产量的影响最大, 碱解N、全N和有机质次之, 它们的关联度都超过 0.78, 这与山前平原通径分析的研究结果相似^[13]; 全P和阳离子交换量对玉米单产的影响较小; 全K、缓效K和速效K对玉米产量的影响较高, 处于两者之间。

在农田管理措施与土壤类型中, 以土壤类型对玉米单产的影响为最大, 灌溉次数次之, 有无施用复合肥对产量影响相对较小, 关联度低于秸秆还田年数。由于封丘地区玉米生长季虽然雨水充足, 但却并不均匀。2006 年, 玉米生长时期的 6、7、8、9 这 4 个月, 降雨量分别为 101、265.2、99.9 和 26.8 mm, 可见降雨主要集中在 7 月, 其中 8 月是玉米生长旺季, 涵盖了扬花期、灌浆期、乳熟期等几个关键生长需水期, 而气温高、蒸腾蒸发量大、降水不够易造成作物减产, 因此可能导致玉米的产量与灌溉次数有较强的关联性, 所以在玉米管理中, 仍然要根据具体情况注意适量灌溉。秸秆还田不仅可以有效避免过去因焚烧秸秆而造成的污染, 而且对土壤中 N、P、K 库的补充起到了非常积极的作用, 但土壤肥力的提高需多年还田逐渐累积, 由于所调查的田块大多处于刚还田 1 ~ 3 年, 因此应该将秸秆还田作为一项长期性的培肥措施而贯彻到底。

从总体上看, 土壤养分含量与玉米单产的关联度

要明显大于几项农田管理措施, 可见影响该区域玉米产量的主要因素仍然是土壤因子, 且主要是 N、P、K 养分含量, 因此, 提高和保持区域玉米产量, 必须坚持培肥土壤, 平衡施肥。

3 小结

黄淮海平原生产出我国 1/5 以上的粮食, 在国家粮食安全建设中具有中流砥柱作用。通过对黄淮海平原封丘地区土壤肥力现状及其与农田生产力相关性的研究表明, 区域潮土的肥力质量得到普遍提高, 高肥力田块增多, 低肥力田块减少。土壤有机质、全 N、速效 P 等养分平均含量得到显著增加, 同时有机质、全 N、碱解 N 和速效 P 等养分指标低含量等级的比例显著降低, 而较高含量水平等级比例显著增多; 而土壤速效 K 平均含量显著降低, 较高含量的等级比例显著减少, 可能缺 K 的土壤比例显著增多, 这与人们一直认为潮土 K 丰富, 农田长期不施 K 有关。土壤肥力、农田管理措施与玉米产量的灰色关联分析表明, 土壤肥力对玉米产量的影响大于农田管理措施, 而土壤肥力因素中, 全 N、速效 P 和碱解 N 的影响较大; 农田管理措施中, 以玉米当季灌溉次数对玉米单产的影响较大。这就为区域农田土壤质量研究、管理和政策决策提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 徐富安. 封丘地区粮食生产水分利用效率历史演变及其潜力分析. 土壤学报, 2001, 38(4): 491-497
- [2] 傅积平, 王遵亲. 土壤培肥与农业环境生态研究. 北京: 科学出版社, 1992: 1-95
- [3] 徐富安. 豫北地区水分生态环境要素演变及其意义. 土壤学报, 2003, 40(1): 29-36
- [4] 张玉铭. 华北太行山前平原农田土壤水分动态与氮素的淋溶损失. 土壤学报, 2006, 43(1): 17-25
- [5] Zhao BZ, Zhang JB, Flury M, Zhu AN, Jiang QA, Bi JW. Groundwater contamination with NO₃-N in a wheat-corn cropping system in the north China plain. Pedosphere, 2007, 17(6): 721-731
- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [7] 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武汉: 华中工学院出版社, 1987
- [8] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥. 北京: 化学工业出版社, 1998: 49-53
- [9] 谢建昌, 周健民. 钾与中国农业. 南京: 河海大学出版社, 2000: 105-125
- [10] 谢建昌, 周健民. 钾与中国农业. 南京: 河海大学出版社, 2000: 53-71
- [11] 赵炳梓, 张佳宝. 黄淮海平原集约化种植条件下的土壤剖面硝态氮变化. 土壤, 2007, 39 (5): 760-765
- [12] 任喜波, 魏毓棠. 萝卜主要性状与产量形状间的灰色关联度分析. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 598-601
- [13] 张玉铭, 毛任钊, 胡春胜, 张佳宝, 朱安宁. 华北太行山前平原土壤肥力状况与玉米产量相关关系的通径分析. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 51-55

Soil Fertilities and Its Relationship to Maize Productivity in the North China Plain

SUN Ye-lin, LIU Qin

(Changshu National Agroecosystem Experiment Station, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: The current soil fertility status and the relationship between the soil fertilities and farmland productivity at Fengqiu in the North China Plain were studied in this paper. The results showed that soil fertilities were significantly improved since 1980s. Soil organic matter, total-N and available-P contents were increased obviously, but soil available-K was reduced remarkably. The influence of soil fertilities on corn yield was larger than that of farmland management measures. And among the factors of soil fertilities, the influence of Total-N, available-P and available-N on yield were larger. The research results could provide a scientific basis for decision-making in crop production.

Key words: Soil fertility, Farmland management measures, Productivity, Grey correlation