植物营养与肥料学报 2011,17(1):16-21
Plant Nutrition and Fertilizer Science

西湖平原区连续13年定位施肥对麦、稻产量及土壤肥力的影响

徐祖祥
(浙江省杭州市植保土肥总站,浙江杭州 310020)

摘要:以浙江省水网平原水稻主产区土壤为对象,通过定位试验,研究了连续13年的不同施肥处理对麦稻产量、土壤养分状况和物理性状的影响。结果表明,化肥配施有机肥可显著提高麦、稻产量;不同施肥处理的长期定位试验土壤有机质含量和全氮均呈上升趋势,增幅依次为:栏肥+NPK>秸秆+NPK>NPK>秸秆>栏肥>CK处理;土壤碱解氮和速效磷也呈增加趋势,以栏肥+NPK处理的增幅最为明显。土壤物理性状的分析表明,长期施肥均能明显增加土壤水稳性团粒含量和土壤孔隙度。经土壤养分平衡分析,栏肥+NPK、秸秆+NPK和NPK处理的氮和磷呈现盈余,秸秆和CK处理氮和磷亏缺;栏肥+NPK和秸秆+NPK处理钾基本平衡,NPK、秸秆、栏肥和CK处理钾严重亏缺。长期定位试验进一步证明有机肥与氮、磷、钾化肥长期配合施用可实现当地农作物持续稳产,农田施肥管理要注意适当减少氮、磷投入,增加钾肥施用量,保持农田土壤养分平衡。

关键词:有机肥;化肥;施肥;产量;土壤肥力
中图分类号:S51.06　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2011)01-0016-06

Influences of consecutive 13-year long-term fertilization on yields of rice and wheat and soil fertility in Xihu Plain

XU Zu-xiang
(*The General Station of Plant Protection, Soils and Fertilizers, Hangzhou Municipal Bureau of Agriculture, Hangzhou 310020, China*)

Abstract: The consecutive 13-year long-term fertilization trials with six fertilization treatments in Xihu plain were conducted to explore influences of long-term fertilization on the yields of single-cropping late rice and winter wheat and soil fertility. The results show that yields of wheat and rice are increased significantly under the application of chemical fertilizers combined with organic manure. The results of soil nutrient analysis show that contents of soil organic matter and total nitrogen are gradually increased with experimental time among the all treatments. The highest value of soil organic matter content is observed in the treatment of the application of manure plus chemical fertilizers, which is 25.8% more than that at the beginning of the trials. Among the six treatments, the content of soil organic matter are increased in the order of manure plus chemical fertilizers (NPK) > straw mulching plus chemical fertilizers (NPK) > chemical fertilizers (NPK) > straw > control. The results of soil physical analysis show that there are significant rising trends in soil water-stable granular structure and total soil porosity during 13 years in all fertiliation treatments, which is beneficial to the improvement of soil physical characteristics. Soil nutrient balance analysis on consecutive 13-year fixed-location fertilization indicate that NPK plus manure, NPK plus straw and NPK treatments have a surplus of nitrogen and phosphorus, while straw and control treatments show deficiencies of nitrogen and phosphorus. NPK plus manure and NPK plus straw show balances of input and output of potassium in

收稿日期:2010-04-09　　**接受日期**:2010-06-24
基金项目:浙江省杭州市财政基金(1996006)项目资助。
作者简介:徐祖祥(1956—),男,浙江绍兴人、高级农艺师,主要从事农田土壤长期定位监测及设施农业土壤障碍因子治理研究。
E-mail:Xzx6781317@163.com.
本文承蒙浙江大学环境与资源学院卢升高教授斧正,特此感谢!

soils, while NPK, straw, and control treatments show deficiencies of potassium in soils. The consecutive fixed-location fertilization suggests that the application of chemical fertilizer combined with organic manure could increase crop yield and improved soil fertility. The increasing application of potassium fertilizer would help the balances of nutrients in soils.

Key words: organic manure; chemical fertilizer; fertilization; yield; soil fertility

长期定位试验具有时间的长期性和气候的变化性和土壤环境的特殊性等特点，信息量丰富，准确可靠，具有常规试验不可比拟的优点，它能系统提示土壤理化性状的演变，并能预测土壤承载能力和作物生产能力，为农业生产可持续发展提供决策依据。因此，国内外都十分重视长期定位试验，英国洛桑试验站 1843 年设立的土壤肥料长期定位试验是迄今世界上历史最悠久的长期定位试验，取得了短期试验无法获得的重要成果，为农业生产现代化发展做出了重大贡献。其后法国、美国、德国、日本等国相继建立了土壤肥料长期定位试验站[1-4]。我国农业部门也于 1984 年开始了耕地质量长期定位监测工作，截止 2008 年，长期定位试验点达 365 个，分布在 30 个省、自治区、直辖市的 283 个县，涵盖了 34 个主要土类[5]。这些长期定位试验的研究成果，对科学施肥制度的建立、农业生态与环境保护、农业生产持续发展等均起到了至关重要的决策和推动作用。

随着农田化肥施用量不断上升，有机肥施用量逐年减少，长期维持这种状况会造成作物产量下降和土壤养分供应不平衡，引起土壤理化性状衰退，甚至出现土壤障碍因子[6-7]。为了保证作物稳产、高产、实现农业持续发展，科学合理施肥，保持土壤养分动态平衡，本研究单位根据杭州市农田土壤肥力状况，于 1996 年在水网平原区水稻种植代表性土壤上建立了长期定位试验点，通过连续 13 年的定位试验分析，探讨有机肥、秸秆还田、有机肥与化肥配施及秸秆与化肥配施对作物产量及土壤肥力变化的关系。本文初步报道了 13 年来长期定位试验麦、稻作物产量和土壤肥力演变结果，试图为评价水稻生产区土壤肥力演变规律、施肥制度对土壤肥力的影响，制定科学合理施肥方案提供基础数据，为区域地力评价和配方施肥等提供理论依据。

1　试验材料与方法

1.1　试验地点与土壤状况

长期定位试验设在杭州市西湖区双浦镇杭富村。土壤为河流冲积物发育的潴育型水稻土，系土层分化明显，发育较好的泥质田土壤，剖面土体构型为 A－Ap－W－C[8]。试验前耕层（0—20 cm）土壤 pH 值 5.69、有机质含量 29.0 g/kg、全氮 1.70 g/kg、全磷 0.53 g/kg、全钾 22.6 g/kg、碱解氮 161.3 mg/kg、速效磷 5.0 mg/kg、速效钾 42.7 mg/kg；土壤容重 1.24 g/cm^3。

1.2　试验设计与测定方法

长期定位试验共设 6 个处理：（1）对照 CK（长期不施任何肥料）；（2）NPK；（3）秸秆；（4）栏肥；（5）秸秆＋NPK；（6）栏肥＋NPK。试验采取随机排列，3 次重复，小区面积 30 m^2。小区之间采用红砖砌成水泥田埂分隔，灌、排独立。处理中供试肥料氮肥为尿素（含 N 46%），磷肥为过磷酸钙（P_2O_5 12%），钾肥为氯化钾（K_2O 60%）。每季分别施 N 135 kg/hm^2，P_2O_5 45 kg/hm^2 和 K_2O 75 kg/hm^2，栏肥每季施腐熟栏肥 7500 kg/hm^2，作物秸秆每季施风干秸秆 1500 kg/hm^2。栏肥的平均养分含量分别为全氮 18.1 g/kg、全磷 10.9 g/kg 和全钾 28.9 g/kg，秸秆的平均养分含量分别为全氮 7.3 g/kg、全磷 3.3 g/kg 和全钾 19.7 g/kg。种植方式为麦-稻两熟制，每季作物收割前采集植株样品，作考种和分析用。各小区作物采取单收、单脱、单晒计产，分别统计作物产量和生物量。每年 11 月份晚稻收割后采取各小区耕层（0—20cm）土壤混合样品进行常规分析[9-10]，分析项目包括土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾；小麦和水稻子粒与秸秆的氮、磷、钾含量；每隔 4 年分析土壤容重、团聚体和孔隙度等物理指标。

土壤理化性质和植物样品分析采用常规方法[10]：有机质用 H_2SO_4－$K_2Cr_2O_7$ 容量法，全氮用半微量开氏定氮法，速效氮用碱解扩散法，有效磷用氟化铵-稀盐酸浸提—钼蓝比色法，速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法测定。

2　结果与分析

2.1　长期不同施肥对作物农艺性状及产量的影响

连续 13 年监测分析麦、稻作物农艺性状及产量，包括基本苗、有效穗、每穗结实率、千粒重、产量等指标，其中作物产量的变化见图 1。结果表明，不

同施肥处理对长期定位试验小麦和水稻产量影响较大[11-12]。13年间由于受气候因子的影响,各年之间麦、稻产量变化幅度较大,但6个处理之间麦、稻产量变化规律基本相同,表现为秸秆+NPK、栏肥+NPK和NPK处理的小麦产量明显高于CK、秸秆和栏肥处理,13年晚稻的产量的变化规律与小麦相同。表明所有施肥处理产量均高于对照,经新复极差检验差异均达到显著水平($P<0.05$),说明不论是有机肥或化肥,施肥均具有明显的增产作用;而在等量化肥的3个处理中(秸秆+NPK、栏肥+NPK和NPK),化肥配施有机肥处理的历年产量均比单施化肥高。秸秆还田配施化肥处理的小麦产量在开始年份产量低于化肥处理,以后逐年高于施化肥的处理。经13年连续观察,有机肥配施化肥的小麦和水稻在正常年份产量分别维持在3000～4000和7000～8000 kg/hm^2,这一结果与当地常规栽培条件下的高产粮田产量水平基本一致,但施肥水平明显低于当地常规施肥。

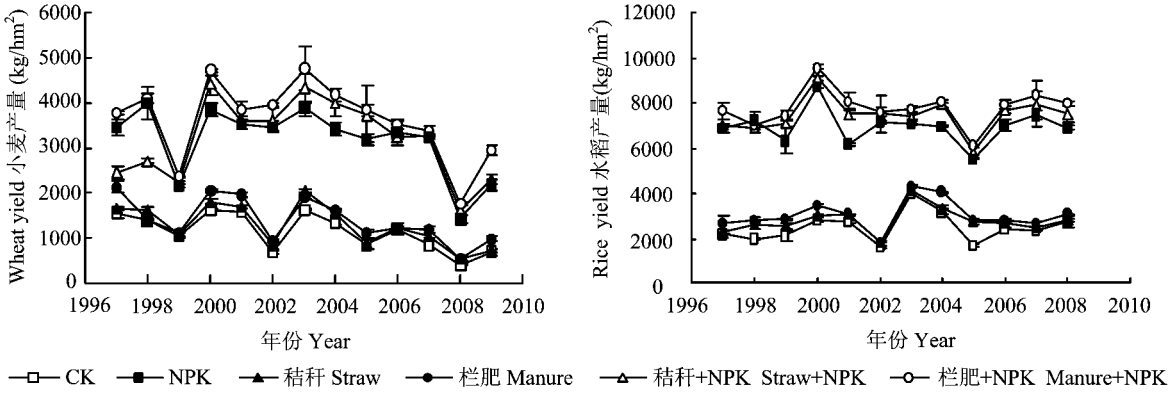

图1 长期不同施肥处理对小麦和水稻产量的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on yields of wheat and rice

2.2 长期定位施肥对土壤有机质含量的影响

土壤有机质含量的高低与土壤肥力水平密切相关,直接影响土壤理化性状,并反映土壤熟化度。13年不同施肥处理耕层土壤有机质含量及变化趋势表明,各处理的土壤有机质含量均呈上升趋势,除对照区无显著变化外,其它各施肥处理土壤有机质含量比试验前均有不同程度的提高(图2)。土壤有机质含量的增加幅度以栏肥+NPK处理最高,经13年试验,栏肥+NPK处理的耕层土壤有机质含量达36.5 g/kg,比试验前增加7.5 g/kg,提高25.8%。各处理的土壤有机质含量依次为:栏肥+NPK>秸秆+NPK>NPK>秸秆>栏肥>CK,表明有机肥与化肥配施对土壤有机质含量的提高最为明显。单施化肥的土壤有机质比试验前有所提高,但提高幅度低于施有机肥。结果还表明,不施肥对照处理的土壤有机质含量并未呈逐年下降的趋势,而是呈缓慢上升的趋势,其原因为,虽然对照区作物地上部生物量随收获后全部移走,但由于根茬(含根系)量年平均可达2533 kg/hm^2,按有机物含碳量为43%,平均腐殖化系数为0.25,有机质形成系数为1.724,土壤有机质矿化系数为0.045计算土壤有机质的平衡状况,不施肥区土壤有机质增加量与年矿化量仍然能维持平衡状态。

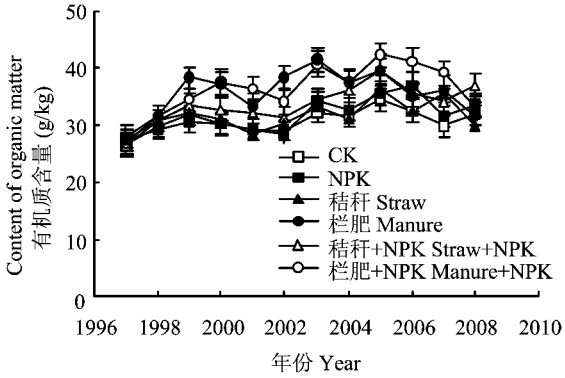

图2 长期不同施肥对土壤有机质含量的影响

Fig. 2 Effects of long-term different fertilization treatments on contents of soil organic matter

2.3 长期定位施肥对土壤养分含量的影响

不同处理之间土壤全氮含量的变化与有机质含量的变化表现出相同的趋势,有机肥(栏肥和秸秆)与化肥配施,耕层土壤全氮含量明显提高。经13年的试验结果表明,在6个处理的土壤全氮含量中,除对照处理的耕层土壤全氮含量比试验前略微增加外,其它处理增加幅度在0.19～0.47 g/kg。其中,栏肥+NPK处理的耕层土壤全氮含量比试验前增0.47g/kg,提高27.6%。各处理的土壤全氮含量依

次为：栏肥 + NPK > 秸秆 + NPK > 栏肥 > NPK > 秸秆 > CK。这表明有机肥与化肥配施对土壤全氮含量的提高更为明显，高于单施化肥（NPK）或单施有机肥（栏肥和秸秆）处理。长期定位试验中耕层土壤速效养分的变化见图 3。从耕层土壤碱解氮含量的变化看出，试验初期 1 ～ 5 年，各处理的土壤碱解氮含量呈缓慢下降过程[13]，到 5 ～ 6 年后，除 CK 处理外，各施肥处理土壤碱解氮含量均有不同程度的提高。其中，栏肥 + NPK 和秸秆 + NPK 的处理对增加土壤碱解氮的速度明显比单施化肥（NPK）或单施有机肥（栏肥和秸秆）处理快。耕层土壤有效磷含量随监测时间的延续，变化幅度较大[14-15]。在试验开始前 3 年间，6 个不同施肥处理对土壤有效磷增长的影响几乎呈相同趋势，至第 4 年开始，化肥配施有机肥处理（栏肥 + NPK 和秸秆 + NPK）的有效磷含量迅速增加。不同施肥处理对土壤速效钾含量的影响较大（图 3），总体上，6 个处理的土壤速效钾含量与试验前比较均呈下降趋势。其中，秸秆 + NPK、栏肥 + NPK 和 NPK 处理的耕层土壤速效钾含量比试验前下降的幅度较小，而 CK、秸秆和栏肥处理的耕层土壤速效钾含量与试验前相比下降更为明显。表明在 13 年的长期定位试验中，施钾肥以及秸秆和栏肥配施氮磷钾化肥可稳定土壤耕层速效钾含量。

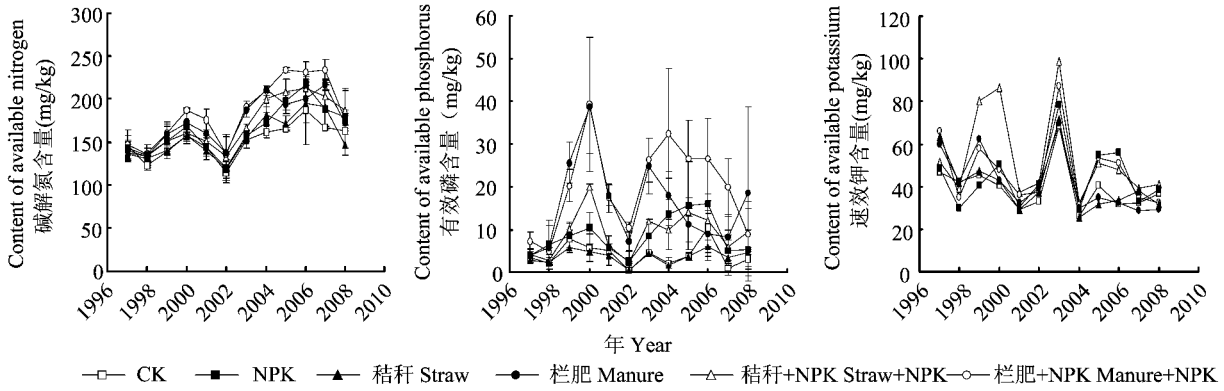

图 3　长期不同施肥对土壤速效养分含量变化的影响

Fig. 3　Effects of long-term different fertilization treatments on contents of available nitrogen, phosphorus and potassium in soils

2.4　长期不同施肥对土壤物理性状变化的影响

长期不同施肥对土壤物理性质的影响见表 1。表明经 13 年不同施肥处理土壤水稳性团粒含量呈上升趋势。比较试验前后，栏肥 + NPK、秸秆 + NPK、NPK、秸秆和栏肥处理的 > 0.25 mm 水稳性团粒含量、土壤总孔隙度和毛管孔隙度均比试验前显著增加（$P < 0.01$）。秸秆 + NPK 处理的土壤总孔隙度比试验前增加 9.79%，栏肥 + NPK 处理增加 9.46%。对照区土壤试验前后的 > 0.25 mm 水稳性团粒含量、总孔隙度和毛管孔隙度没有显著差异。这也表明化肥配施有机肥或秸秆可显著改善土壤通气性，有利于水稳性团粒结构的形成[16-18]，可促进作物生长。

表 1　长期不同施肥对土壤团粒和孔隙度的影响

Table 1　Effect of long-term different fertilization on soil aggregate and pore space

处理 Treatment	>0.25mm 水稳性团粒（%） Water-stable aggregate		总孔隙度 Total pore space （%）		毛管孔隙度 Capillary pore space （%）		非毛管孔隙度 Non-capillary pore space （%）	
	1996	2008	1996	2008	1996	2008	1996	2008
CK	3.48 bB	3.51 bB	41.71 bB	43.36 bB	36.23 bB	37.61 bB	5.48 bB	5.75 bB
NPK	3.48 bB	3.93 aA	41.71 bB	47.33 aA	36.23 bB	40.17 aA	5.48 bB	6.16 aB
秸秆 Straw	3.48 bB	4.66 aA	41.71 bB	52.75 aA	36.23 bB	39.42 aA	5.48 bB	13.33 aA
栏肥 Manure	3.48 bB	4.59 aA	41.71 bB	51.93 aA	36.23 bB	40.02 aA	5.48 bB	11.91 aA
秸秆 + NPK Straw + NPK	3.48 bB	4.72 aA	41.71 bB	51.49 aA	36.23 bB	39.16 aA	5.48 bB	10.45 aA
栏肥 + NPK Manure + NPK	3.48 bB	4.61 aA	41.71 bB	51.17 aA	36.23 bB	40.72 aA	5.48 bB	10.45 aA

注（Note）：不同大、小写字母表示差异达 1% 和 5% 显著水平 Different capital and small letters indicate significant differences at 1% and 5% levels, respectively.

2.5 长期不同施肥处理土壤养分平衡状况

根据土壤-作物系统内的作物子粒和秸秆产出、化肥与有机肥输入和作物秸秆还田(有机肥)输入,进行农田养分平衡计算,13年连续长期定位施肥农田土壤养分平衡状况见图4。结果看出,6个不同施肥处理的土壤氮素平衡盈余出现不同状态,栏肥+NPK、秸秆+NPK和NPK处理的氮素养分总平衡值为盈余。化肥配施有机肥的土壤磷素平衡有盈余,尤其是栏肥+NPK处理。表明有机肥与化肥配施对土壤氮、磷养分影响最显著,是培肥土壤氮、磷肥力的有效措施。农田土壤养分平衡结果也表明,在充分利用有机肥基础上适量减少化学肥料施用量是保持土壤养分平衡,防止农田面源污染,保护生态环境,节约资源的科学之举。

钾素平衡状况表明,CK、NPK、栏肥和秸秆处理,13年连续试验后钾素亏损总量达868.19,343.43,287.97和441.37kg/hm^2。秸秆+NPK、栏肥+NPK处理钾处于基本平衡和亏损状态,盈亏量分别为-5.69和1.25 kg/hm^2。表明农田钾素投入量始终小于作物携带量,土壤钾库长期处于负平衡状态。这与国内的其它一些研究结果基本一致,即我国农田钾素普遍亏缺。本地区传统农业一直依赖有机肥归还土壤钾素,而有机肥投入的钾素不抵作物携带量,因此需要在传统的施用有机肥的基础上增施化学钾肥且提高投入量才能保持土壤钾素的平衡和持续增产效应。近年来,由于人工成本提高和有机肥资源不足,当地大多数农田长期不施有机肥和任何钾肥,完全依靠土壤自然供钾,应引起充分的重视。

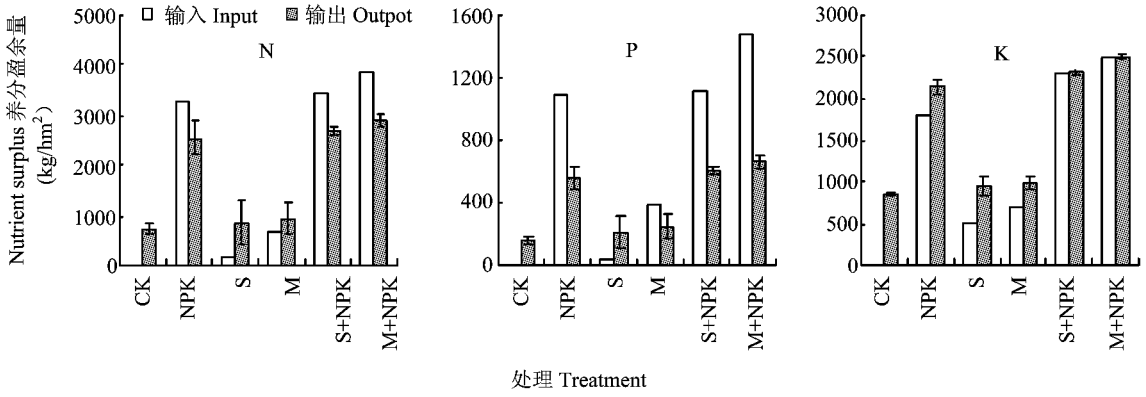

图4 长期不同施肥土壤氮、磷、钾养分平衡分析

Fig.4 Balances of soils nitrogen, phosphorus and potassium in the long-term different fertilization system

[注(Note): S—秸秆 Straw; M—栏肥 Manure.]

3 结论

13年长期定位试验结果表明,在不同施肥处理中,不论是有机肥或化肥,施肥均具有明显的增产作用;而化肥配施有机肥处理的麦、稻增产最为明显。对土壤有机质含量和速效养分的分析也表明,土壤有机质含量各处理均呈增长趋势,平均年增长率为1.66%,其中以有机肥与化肥配施的效果较好。本研究结果再一次验证了有机无机配施对作物的增产作用与提升土壤肥力的效果。而连续13年不施肥的对照处理,其土壤有机质含量并未呈现逐年下降趋势,而是一直处在缓慢上升的过程,这是因为在不施肥条件下虽然作物的生物产量降低造成了产量降低,但每年仍有一部分根茬在土壤中残留和累积,保证了土壤有机质含量的相对稳定和平衡。

长期定位试验进一步证明了有机肥与氮、磷、钾化肥长期配合施用(栏肥+NPK,秸秆+NPK)是当地农作物生产上实现平衡施肥的主要措施;长期定位试验的作物产量代表了该地区的生产水平,可作为当地小麦、水稻测土配方施肥的依据。在生产实践中,应提倡施用腐熟的栏肥作有机肥,配施一定量的化肥,使长效肥与速效肥相结合,达到作物增产的目的。同时要注意适当增加钾肥施用量,弥补作物高产大量携走的钾素,保持土壤钾素的动态平衡。

参考文献:

[1] Galantini J, Rosell R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils[J]. Soil Till. Res., 2006, 87: 72-79.

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

[3] 全国农业技术推广服务中心,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所. 耕地质量演变趋势研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.

China Agricultural Technology Extension Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning. Studies on arable land quality changes [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008.

[4] 沈善敏. 长期土壤肥力试验的科学价值[J]. 植物营养与肥料学报,1995,1(1): 1-19.
Shen S M. The scientific value of long-term soil fertility experiment [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1995,1(1): 1-19.

[5] 全国农业技术推广服务中心,国家耕地质量监测报告[R]. 2008,1-41.
China Agricultural Technology Extension Center. Monitoring report on national arable land quality[R]. 2008,1-41.

[6] 徐祖祥. 有机肥和化肥配施对作物产量和土壤养分的长期影响[J]. 浙江农业学报,2001,13(4): 45-51
Xu Z X. Effects of combination fertilization of organic and chemical fertilizer on soil nutrients and crop yields[J]Acta Agric. Zhejiang, 2001, 13(4): 45-51.

[7] 徐祖祥. 连续秸秆对作物产量和土壤养分的影响[J]. 浙江农业科学,2003,(1): 35-36.
Xu Z X. Effects of applying crop stalk of each crop to fields on the crop yields and soil nutrients during[J]. J. Zhejiang Agric. Sci., 2003,(1): 35-36.

[8] 章明奎,魏孝孚,厉仁安. 浙江土系概论[M]. 北京: 中国农业科技出版社,2000. 81-85.
Zhang M K, Wei X F, Li R A. Soil series in Zhejiang[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 81-85.

[9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社,2000.
Lu R K. Methods of soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.

[10] 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社,1978.
Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science. Soil physical and chemistry analysis[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.

[11] 周建斌,李昌伟,赵伯善,李辉桃,华天懋. 化肥及有机肥配施定位试验的研究—作物产量及土壤养分含量变化[J]. 西北农业大学学报,1993,24(2): 61-65.
Zhou J B. Li C W, Zhao B S, Li H T, Hua T M. Fixed position experiments of inorganic fertilizer and organic manure in balance application to Lou Soil—Variations in crop yields and soil nutrients[J]. J. Northwest Agric. Univ. 1993,24(2): 61-65.

[12] 徐祖祥. 不同施肥对麦稻产量与品质的影响[J]. 上海农业学报,2009,(3): 82-84.
Xu Z X. Effects of different fertilizer treatments on yield and quality of rice-wheat cropping[J]. Acta Agric. Shanghai, 2009, (3): 82-84.

[13] 文启孝. 土壤氮素的含量和形态[A]. 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮[M]. 南京: 江苏科学技术出版社,1992. 3-26.
Wen Q X. Soil nitrogen content and forms[A]. Zhu Z L, Wen Q X. Soil nitrogen in China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992. 3-26.

[14] 林葆,林继雄,艾卫,张景安. 有机肥与化肥配合施用的定位试验研究[J]. 土壤肥料,1985,(5): 22-27.
Lin B, Lin J X, Ai W, Zhang J A. Fixed position experiment studies on inorganic fertilizer and organic manure[J]. Soil Fert., 1985,(5): 22-27.

[15] 杨军,陈新平,张福锁,王兴仁. 应用长期定位试验研究化肥施用的能量效率[J]. 中国农业大学学报,2003,8(3): 31-36.
Yang J, Chen X P, Zhang F S, Wang X R. Effect of mineral fertilizer application on energy efficiency in a long-term field experiment[J]. J. China Agric. Univ., 2003, 8(3): 31-36.

[16] 刘晓利,何园球,李成亮,王艳玲. 不同利用方式和肥力红壤中水稳性团聚体分布及物理性质特征[J]. 土壤学报,2008, 45(3): 459-465.
Liu X L, He Y Q, Li C L, Wang Y L. Distribution and physical properties of soil water-stable aggregates in red soils different in land use and soil fertility[J]. Acta Pedol. Sin., 2008, 45(3): 459-465.

[17] 陈恩凤,周礼恺,武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义[J]. 土壤学报,1994,31(1): 18-24.
Chen E F, Zhou L K, Wu G Y. Performances of soil microaggregates in storing and supplying moisture and nutrients and role of their compositional proportion in judging fertility level[J]. Acta Pedol. Sin., 1994, 31(1): 18-24.

[18] 员学锋,汪有科,吴普特,冯浩. PAM 对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J]. 水土保持学报,2005,19(2): 38-41.
Yuan X F, Wang Y K, Wu P T, Feng H. Effects and mechanism of PAM on soil physical characteristics[J]. J. Soil Water Conserv., 2005,19(2): 38-41.