

有机-无机肥长期配施对潮土土壤肥力和作物产量的影响

马俊永, 李科江*, 曹彩云, 郑春莲

(农业部衡水潮土生态环境重点野外科学观测试验站, 河北省农林科学院旱作农业研究所, 河北衡水 053000)

摘要: 以 24 年(1981~2004 年)的肥料长期定位试验为基础, 分析探讨了有机-无机肥长期配施对潮土土壤肥力和作物产量的影响。研究表明, 除增施秸秆外, 增施化肥也能提高土壤有机质的含量, 但同时增施化肥和秸秆更有利于土壤有机质的积累。在提高有机质复合量方面, 施用化肥的效果好于施用秸秆, 而有机-无机肥结合效果较单一施用秸秆或化肥都要高; 随秸秆或化肥施用量的增加有机质的复合度逐渐降低, 但有机-无机肥结合施用可以提高有机质的复合度。有机-无机结合有利于改善土壤的物理性状, 降低了土壤容重, 提高了土壤田间持水量和饱和含水量, 增加了土壤总孔隙度和毛管孔隙。单施秸秆肥和单施化肥均有显著的增产效应, 而化肥的增产幅度远远大于秸秆肥, 有机-无机结合的增产幅度在同等施肥量下较单独施用秸秆或化肥的产量都要高。结果表明, 有机-无机结合较单一施用秸秆肥或化肥能更有效地提高潮土的土壤肥力, 提高作物产量。

关键词: 有机-无机结合; 长期定位试验; 作物产量; 土壤肥力

中图分类号: S158.5

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2007)02-0236-06

Effect of long-term located organic-inorganic fertilizer application on fluvo-aquic soil fertility and crop yield

MA Jun-yong, LI Ke-jiang*, CAO Cai-yun, ZHENG Chun-lian

(Key Field Scientific Observation Station of Hengshui Fluvo-aquic Soil Ecoogy Environment, MOA; Dryland Farming Institute of Hebei Agricultural and Forestry Sciences, Hengshui, Hebei 053000, China)

Abstract: By a 24-year (1981-2004) long-term located fertilizer experiment, the effect of long-term combined application of organic and chemical fertilizers on fluvo-aquic soil fertility and crop yield was investigated in Hengshui, Hebei Province. The results showed that, both chemical and organic fertilization could significantly increase crop yield, but chemical fertilizer application was more effective. Combined application of organic straw and chemical fertilizer had a more pronounced yield response than single application of either. Applying chemical fertilizer also increased the soil organic matter content, but applying chemical fertilizer together with organic straw tended to accumulate more soil organic matter than single application of either. As to the compound quantity of soil organic matter, the chemical fertilizer proved to be better than that of straw, and combined application of both straw and chemical fertilizer was the best. The compound degree of soil organic matter decreased with the increasing single application rate of either straw or chemical fertilizer, but combined application of them could increase the compound degree of soil organic matter. The combining application of organic straw and chemical fertilizer could also improve soil physical properties: soil bulk density was lightened, field water holding capacity and soil saturated water content were increased, total soil porosity and soil capillary porosity were enhanced. Thus it was concluded that combining application of organic straw and chemical fertilizer could improve the fluvo-aquic soil fertility and increase crop yield.

Key words: organic-inorganic fertilizer combination; long-term experiment; crop yield; soil fertility

收稿日期: 2005-07-23

修改稿收到日期: 2006-01-10

基金项目: 国家粮食丰产科技工程项目(2004BA520A07)资助。

作者简介: 马俊永(1965—), 男, 河北博野人, 副研究员, 主要从事节水及施肥方面的研究。Tel: 0318-7920319, E-mail: mjydfi@126.com

* 通讯作者 E-mail: lkj2789@heinfo.net

长期肥料定位试验被认为是研究肥料对作物产量、土壤肥力和环境等影响的可靠方法,是短期试验所不可比拟的^[1-2],而施肥是土壤肥力的演变最直接的因子,其中化肥和有机肥又对不同的土壤类型表现不同作用^[3-6]。潮土是河北及华北平原耕作土壤的一个主要类型之一,潮土在形成过程中受人为耕作的影响明显,因此人们对施肥及耕作制度等对潮土的肥力演变影响规律进行了一些研究^[7-8],但潮土的分布面广,不同地区气候、自然和耕作等条件变异较大。为了研究黑龙港地区潮土的培肥机制,河北省农林科学院旱作农业研究所自 1981 年始,就有机肥和无机肥对该地区潮土肥力和小麦玉米产量影响进行了长期定位试验^[9],以期为该地区土壤培肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验始自 1981 年种麦季开始,供试土壤为轻壤质底粘潮土,耕层有机质为 11.5 g/kg,碱解氮 51 mg/kg,有效磷 12 mg/kg。种植制度为冬小麦—夏玉米一年两作,有灌溉条件。

试验采用裂区设计,主处理为化肥用量 (kg/hm²),分 4 个水平: 1) N 0、P₂O₅ 0 (N0P0)、2) N 90、P₂O₅ 60 (N1P1)、3) N 180、P₂O₅ 120 (N2P2)、4) N 360、P₂O₅ 240 (N3P3); 副处理为秸秆肥用量 (kg/hm²) 分别为: 0 (S0)、2250 (S1)、4500 (S2)、9000 (S3) 4 水平。3 次重复,随机排列,小区面积为 67 m²。

氮肥施用冬小麦、夏玉米各半,小麦氮肥又底追各半,夏玉米氮肥用量全部用作追肥(苗期—大喇叭口期); 秸秆肥和磷肥在冬小麦播前一次底施。6 年为一施肥周期,前 3 年按方案施肥,后 3 年不施肥观察后效。田间管理按当地常规措施进行。

1.2 分析测试方法

土壤的有机-无机复合状况(重组碳、复合量、复合度),用比重为 2 的杜列液超生分离—重铬酸钾容量消煮法;追加复合量是原土复合量的增值,其值由施肥处理的复合量与对照之差求得。土壤水分类型及孔隙组成类型用重量法和中子仪方法相结合测定^[10];土壤有机质按土壤农化常规分析法测定。

2 结果与分析

2.1 对土壤有机质的影响

2.1.1 单施秸秆肥土壤有机质的变化 图 1a 是 1981~2002 年单施有机肥对土壤有机质的影响趋

势。从 1981~1985 年为第一个试验周期可以看出,土壤有机质有随试验年限延长和秸秆用量增加而下降的趋势,说明单纯施用秸秆很难维持土壤有机质水平。1986 年以后,施用的秸秆使土壤有机质达成了新的平衡,有机质含量趋于稳定,秸秆施用量为 0、2250、4500、9000 kg/hm²,其对应的土壤有机质平均含量分别为 10.8 g/kg、11.1 g/kg、11.2 g/kg、11.3 g/kg,施肥分别较不施秸秆的对照提高 2.8%、3.7% 和 4.6%。方差分析表明,施用秸秆能显著增加土壤有机质含量,但不同秸秆用量间未达到显著差异水平。

2.1.2 单施化肥土壤有机质的变化 单施化肥处理,在施肥阶段土壤有机质升高,在后效阶段降低;而不施化肥的有机质含量随试验年份的延长而逐渐降低,到 10 g/kg 左右趋于稳定。不同化肥施用量 N0P0、N1P1、N2P2、N3P3 其对应的有机质平均含量分别为: 10.8 g/kg、11.6 g/kg、11.7 g/kg、11.9 g/kg,施肥比不施肥对照分别提高有机质 7.4%、8.3%、10.2%,差异达显著水平;但化肥用量处理间未达显著水平(图 1b)。与秸秆肥比较可以看出,施用化肥比施秸秆对土壤有机质的影响大,与不施肥对照相比,施化肥比施秸秆土壤有机质约高 5%。说明施用化肥不比施用秸秆作用差,不会因长期单施化肥而表现肥力下降。

2.1.3 有机-无机肥结合施用土壤有机质的变化 有机-无机配合与施用化肥处理的土壤有机质变化趋势相似,但对提高土壤有机质含量的效果优于单施化肥处理(图 1c)。有机-无机配合施用的 4 个处理 N0P0S0、N1P1S1、N2P2S2、N3P3S3 其对应的土壤有机质含量分别为 10.8 g/kg、11.6 g/kg、11.9 g/kg、12.0 g/kg,施肥较不施肥对照提高有机质分别为 7.4%、10.2%、11.1%。说明有机-无机结合更有利于提高土壤有机质,培肥地力。

2.2 对土壤有机-无机复合度的影响

不同施肥处理的土壤有机质复合状况见表 1。从表 1 可看出,施化肥和有机肥后的土壤均明显增加了土壤总有机碳的含量,施用秸秆有机 C 提高 0.05~0.1 个百分点;土壤有机 C 含量随化肥的施用量增加而增加,有机-无机配合基本与化肥的表现规律相似,但效果优于单施秸秆的处理。

施用秸秆和化肥都使重组碳含量提高,但化肥的作用大于秸秆;而有机-无机配合的效果又大于单施化肥,其重组 C 含量可提高到 0.61%~0.66%。复合量与重组碳表现出相似的规律,即施肥较对照

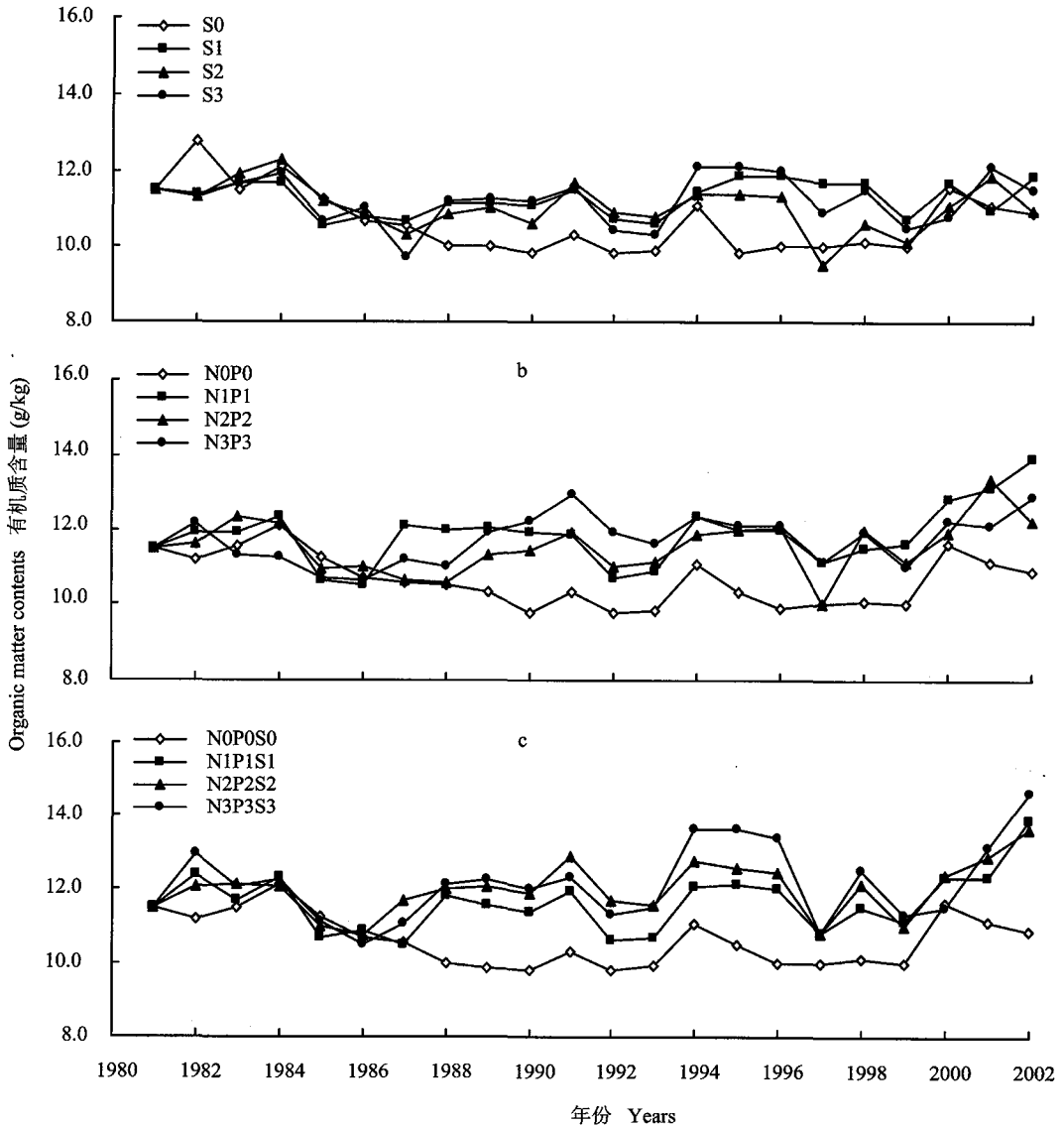


图1 单施秸秆(a)、化肥(b)和有机-无机配施(c)对土壤有机质的影响(1981~2002年)

Fig.1 Effect of stalks(a), chemical fertilizer(b) and organic-inorganic combined(c) application on soil organic matter content from 1981 to 2002

均增加了土壤的复合量,且有机-无机结合的效果优于单施秸秆和化肥处理。追加复合量为由复合量计算而来,因此与复合量表现相同的规律。

施肥与土壤有机质复合度的关系较为复杂,总趋势是随施肥量增加有机质的复合度降低,施秸秆比不施肥降低(表1);化肥在用量较低时有机质复合度有增加趋势;而有机-无机配合时,所有施肥处理复合度均较对照为高。说明增施化肥并配合施用一定量有机肥料,走有机-无机结合的道路,是中低产田培肥土壤的有效途径^[11]。

2.3 对潮土水分及孔隙组成及其类型的影响

土壤孔隙组成又决定于土壤水分状况,是反映

土壤肥力的一个重要方面^[12]。孔性良好的土壤能同时满足作物对水分和空气的要求,有利于养分状况的调节和植物根系的延伸^[13]。表2表明,随着有机肥和无机肥用量的增大,土壤容重下降,田间持水量、饱和含水量、总孔隙增加,表明施肥改善土壤结构,以有机-无机配合效果较好。

2.4 对产量的影响

施用秸秆有提高产量的作用(图2)。21年施用秸秆0、2250、4500、9000 kg/hm²,其对应的平均产量分别为2771.5、2991.3、3127.8、3380.2 kg/hm²,分别比对照增产7.9%、12.8%、22%(图2a)。差异达显著水平(LSD = 117.9)。

表 1 有机-无机结合对土壤有机质复合状况的影响(% , 1992)

Table 1 The soil organic matter compound with different fertilizer treatments

处理 Treatments	代码 Code	总有机碳 Total C	重组碳 Rebuild C	复合量 Compound quantity	复合度 Compound degree	追加复合量 Enlarge compound quantity
秸秆 Stalks	S0	0.73	0.56	0.54	73.97	—
	S1	0.81	0.61	0.60	73.46	0.06
	S2	0.78	0.58	0.57	72.44	0.03
	S3	0.83	0.60	0.58	69.38	0.04
化肥 Chemical fertilizer	N0P0	0.73	0.56	0.54	73.97	—
	N1P1	0.78	0.60	0.59	75.00	0.05
	N2P2	0.84	0.63	0.62	73.21	0.08
	N3P3	0.85	0.64	0.62	72.94	0.08
有机-无机配施 Organic-inorganic combined	N0POS0	0.73	0.56	0.54	73.97	—
	N1P1S1	0.78	0.61	0.60	76.92	0.06
	N2P2S2	0.85	0.66	0.64	75.29	0.10
	N3P3S3	0.82	0.65	0.64	77.44	0.10

表 2 有机-无机结合对土壤水分及孔隙度的影响(1994)

Table 2 Effect of organic and inorganic combined on the soil water and porosity

处理 Treatment	容重 Bulk density (g/cm ³)	田间持水量 Field capacity (%)	饱和含水量 Saturated water content (%)	总孔隙度 Total porosity (%)	毛管孔隙度 Capillary porosity (%)	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity (%)
N0POS0 (CK)	1.57	23.3	25.6	40.2	36.6	3.6
S3	1.49	24.9	27.3	40.7	37.1	3.6
N1P1	1.41	26.1	31.0	42.9	36.1	6.8
N1P1S1	1.41	25.9	28.9	42.2	37.8	4.4
N2P2S2	1.47	24.1	26.8	40.4	36.4	4.4
N3P3S3	1.42	26.0	29.7	42.3	37.1	5.2

随着化肥用量的增大,小麦、玉米增产的幅度较大,N1P1处理平均年产量为4791.9 kg/hm²,比对照(N0P0)增产2020.5 kg/hm²,增产率72.9%。N2P2处理平均年产量5974.9 kg/hm²,比对照增产3203.5 kg/hm²,增产率115.6%。N3P3处理平均年产量7328.5 kg/hm²,比对照增4557.4 kg/hm²,增产率164.4%(图2b)。统计表明,不同化肥差异显著(LSD=863.9)。施用化肥的增产幅度在72.9%~164.4%之间,明显高于单施秸秆(增产幅度7.9%~22%),表明在由中低产田转变为高产田的过程中,增施化肥起着关键性的作用。

21年有机-无机肥配施产量结果(图2c)看出,不施肥的对照在第一肥效周期后产量基本趋于稳

定;施肥处理产量随着施肥量的增加而增加。21年平均分别比对照增产79.0%、123.2%、187.0%,增产幅度在79%~187%,差异达极显著水平(LSD=1214.5),且有机-无机肥呈正交互作用。其产量符合下列方程:

$$Y = 753.04 + 16.8996X_1 + 0.04411X_2 - 0.01426X_1^2 + 1.791E - 06X_2^2 + 1.765E - 05X_1X_2$$

$$R^2 = 0.9954^{**}$$

其中X₁代表化肥,X₂代表秸秆。

综上所述,单施秸秆的增产效果较为缓慢,化肥起着快速增产的作用,而有机-无机结合能更有效地增加作物产量,是中低产田变高产田的良好培肥途径^[14]。

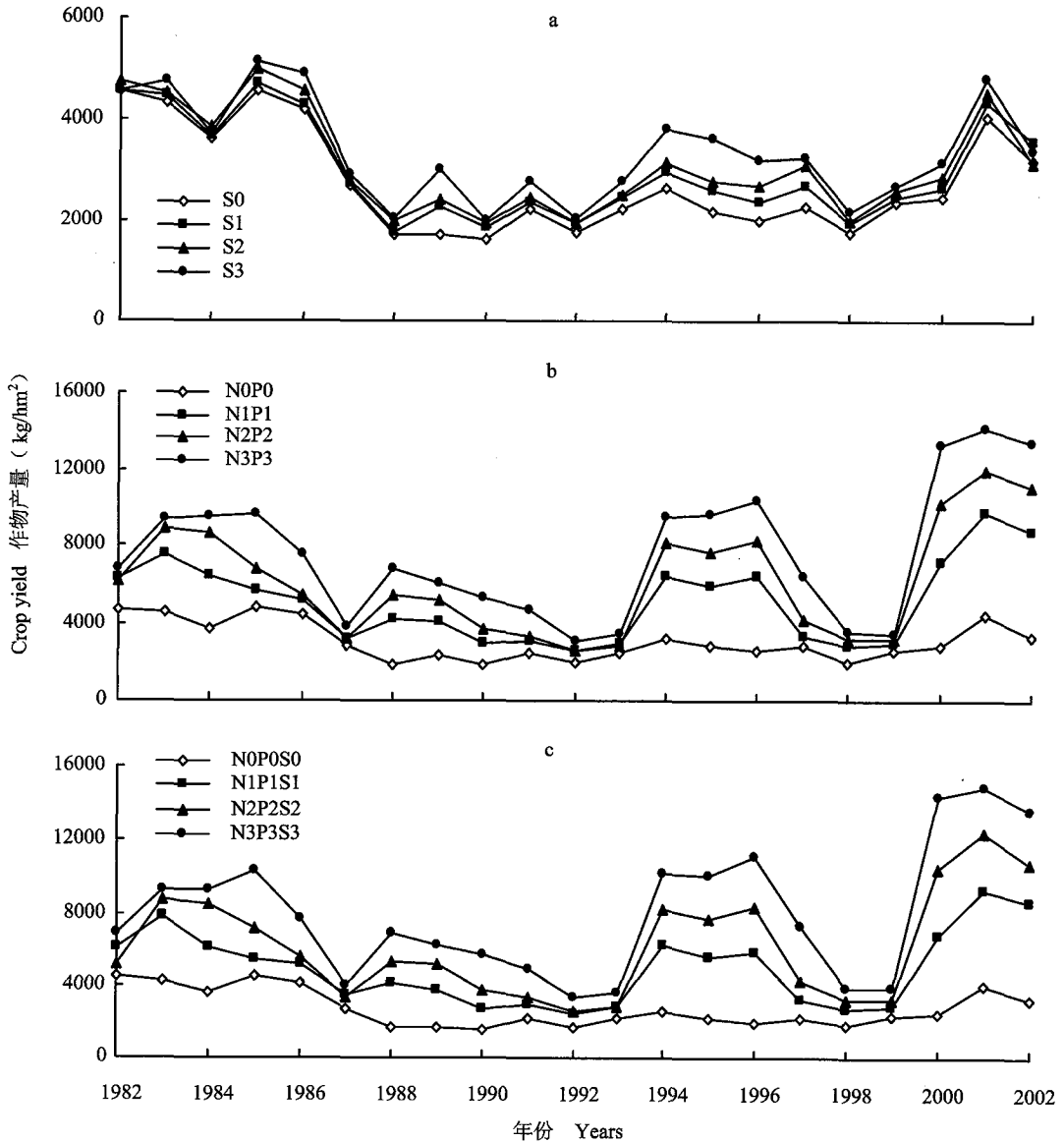


图2 单施秸秆(a)、化肥(b)和有机-无机配施(c)对作物产量的影响(1981~2002年)

Fig.2 Effect of stalks (a), chemical fertilizer(b) and organic-inorganic combined(c) application on crop yield from 1981 to 2002

3 结论

21年的定位试验研究表明,单施秸秆或单施化肥均有显著的增产效应,而化肥的增产幅度大于秸秆;有机与无机配施的增产作用优于单施,其产量效应符合下列方程:

$$Y = 753.04 + 16.8996X_1 + 0.04411X_2 - 0.01426X_1^2 + 1.791E - 06X_2^2 + 1.765E - 05X_1X_2。$$

施化肥或秸秆都能提高土壤有机质的含量,但化肥和秸秆配施更有利于提高土壤有机质含量,改善土壤的物理性状,使总有机碳、重组碳、复合量和

追加复合量随施肥量的增而增加;有机-无机配施还改善土壤容重、孔隙度、田间持水量等物理性状。综合结果表明,本试验条件下,化肥结合秸秆还田即有机-无机配施可以增加土壤有机质、改善土壤理化性状、提高作物产量,这是潮土培肥增产的有效途径。

参考文献:

- [1] 赵秉强,张夫道. 我国的长期肥料定位试验研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(增刊): 3-8.
Zhao B Q, Zhang F D. Long-term fertilizer experiments in China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, (Suppl.): 3-8.

- [2] 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): 1-9.
Shen S M. The scientific value of long-term fertility experiment[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1995, 1(1): 1-9.
- [3] 朱洪勋, 张翔, 孙春河, 王英. 长期施肥对小麦、玉米的增产效应及其对土壤养分的影响[J]. 土壤通报, 1997, 28(4): 28-30.
Effect of long-term fertilization on the yield of corn and wheat and soil nutrients [J]. *China J. Soil Sci.*, 1997, 28(4): 28-30
- [4] 许绣云, 姚贤良, 刘克樱, 黄德凯. 长期施用有机物料对红壤性水稻土的物理性质的影响[J]. 土壤, 1996, (2): 57-61.
Xu X Y, Yao X L, Liu K Y, Huang D K. Effect of long-term application of organic substances on the physical properties of paddy red soil [J]. *Soils*, 1996, (2): 57-61.
- [5] 刘杏兰, 高宗, 刘存寿, 司立征. 有机无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138-147.
Liu X L, Gao Z, Liu C S, Si L Z. Effect of combined application of organic manure and fertilizers on crop yield and soil fertility in a located experiment[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1996, 33(2): 138-147.
- [6] 王伯仁, 徐明岗, 黄佳良, 等. 红壤旱地长期施肥下土壤肥力及肥料效益的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(增刊): 21-28.
Wang B R, Xu M G, Huang J L *et al.* Study on change of soil fertility and fertilizer efficiency under long-term fertilization in upland of red soil [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2002, 8(Suppl.): 21-28.
- [7] 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[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 367-375.
Qin S W, Gu Y C, Zhu Z L. A preliminary report on long-term stationary experiment on fertility evolution of fluvio-aquic soil and the effect of fertilization[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1998, 35(3): 365-375.
- [8] 张桂兰, 宝德俊, 王英, 等. 长期施用化肥对作物产量和土壤性质的影响[J]. 土壤通报, 1999(2): 64-67.
Zhang G L, Bao D J, Wang Y *et al.* Effects on plant production and soil properties from long term application of chemical fertilizer [J]. *China J. Soil Sci.*, 1999(2): 64-67.
- [9] 张素芳. 不同培肥措施、作物产量及土壤肥力的关系[A]. 马小洲. 河北旱作与节水农业之研究[C]. 北京: 中国农业科技出版社. 1996, 195-203.
Zhang S F. The relationship among fertilization measures, crop yield and soil fertility [A]. Ma B Z. Research on water saving and dry farming in Hebei Province [C]. Beijing: China Agriculture Sciencetech Press. 1996. 195-203.
- [10] 史瑞和. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1981.
Shi R H. Soil agrochemistry analysis methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1981.
- [11] 刘树庆. 施用不同有机肥料对土壤有机无机复合度及腐殖质结合形态的影响及其与肥力的关系[A]. 刘树庆, 张立峰. 旱地农业研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社. 1996, 82-90.
Liu S Q. Effect of different application of organic fertilizer on organic-mineral complex and its relationship with soil fertility [A]. Liu S Q, Zhang L F. Agriculture research in arid land [C]. Beijing: China Science and Technology Press.
- [12] 李科江, 张素芳, 贾文竹, 等. 半干旱区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(1): 21-25.
Li K J, Zhang S F, Jia W Z *et al.* Effect of long term fertilization on crop yield and soil fertility in semi arid area [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1999, 5(1): 21-25.
- [13] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社. 1982.
Zhu Z X. *Pedology* [M]. Beijing: Agriculture Press. 1982.
- [14] 张素芳. 有机肥化肥对产量与地力效应的定位试验[J]. 作物杂志, 1991(1): 20-21.
Zhang S F. Long-term experiment of the effect of organic and chemical fertilizers on crop yield and soil fertility [J]. *Crops*, 1991(1): 20-21.