

施用有机肥对土壤肥力的影响

宇万太, 姜子绍, 马强, 周桦

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁沈阳 110016)

摘要: 在潮棕壤上进行了 5 年的定位试验, 研究不同有机肥用量对作物产量和土壤肥力的影响。结果表明, 施用有机肥处理与对照处理相比, 施用有机肥有明显的增产和稳产作用。不施肥处理, 除土壤全钾以外, 土壤其他各项养分指标 (C、N、P) 均有所下降; 施用有机肥能显著提高速效 P、K 养分含量和有机碳及全磷含量。5 年时间, 低量有机肥处理土壤碱解氮含量下降了 9.19 mg/kg, 说明低量有机肥并不能保证土壤氮的供给; 中量有机肥处理土壤碱解氮含量略有上升, 土壤全氮收支基本平衡; 高量有机肥处理土壤碱解氮含量有明显增加, 土壤全氮也有较大程度的盈余。

关键词: 有机肥; 潮棕壤; 土壤肥力; 作物产量

中图分类号: S158

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)05-1057-08

Effects of application of manure on soil fertility

YU Wan-tai, JIANG Zi-shao, MA Qiang, ZHOU Hua

(Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China)

Abstract: Effects of manure application rates on crop yield and soil fertility were studied on a five-year field experiment in an aquic brown soil. The results indicate that the manure application plays an essential role in increasing and stabilizing yield. Contents of total C, total N and total P are decreased in the control treatment while total K is not increased. Contents of available P, available K, organic carbon and total phosphorus are increased significantly with the manure application. Soil alkali-hydrolyzed nitrogen content is decreased by 9.19 mg/kg in five years under the low manure rate which shows that the demand of nitrogen uptake could not be met, while that under the moderate manure rate is slightly increased. Content of alkali-hydrolyzed nitrogen is significantly increased and a positive total N balance is observed at the high manure rate.

Key words: manure; aquic brown soil; soil fertility; crop yield

关于各种有机肥料的增产效果, 国内已进行过大量的中短期田间试验, 但不少结果均表明有机肥的当季增产效果时常不及等量养分的化肥增产作用^[1-2]。不过从长期的增产效应来看, 有机肥料的增产效果绝不逊于化肥, 甚至超过化肥。英国洛桑试验站 Broadbalk 小麦肥料试验表明, 化肥区的小麦产量和厩肥区的小麦产量几乎是相同的; 但在试验后期, 厩肥区的小麦产量在多数年份超过了化肥区^[3]。这与厩肥中养分持续矿化释放及残效叠加有关, 也与厩肥区土壤肥力性状的全面改善有关。有机肥料对作物的增产作用主要还在于有机肥料对作

物持续的养分供给。从长期和实用的角度来看, 有机肥对改善土壤磷素、钾素以及其它大多数植物营养元素状况的作用与化肥几乎是相同的。莫淑勋等^[4]的试验结果表明, 猪粪中的磷主要为水溶性较高的无机磷, 因而对作物的有效性高, 其磷的利用率与化肥相当。殷秀岩等^[5]在辽西的 6 年田间试验结果看出, 猪圈肥中磷的利用率可达 0.31~0.49。有机肥料中的钾呈可溶态, 和化肥钾的作用不会有明显的区别。

在改善土壤氮素供应方面有机肥与化肥有较大区别。无机肥料可以迅速提高土壤碱解氮含量, 并

收稿日期: 2008-10-09

接受日期: 2009-01-09

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX2-YW-407, KZCX2-YW-405); 国家支撑计划项目(2006BAD05B05)资助。

作者简介: 宇万太(1964—), 男, 辽宁沈阳人, 研究员, 主要从事农业生态系统物质循环研究。E-mail: wtyu@iae.ac.cn

在一定水平上保持相对稳定;而有机肥对土壤碱解氮的增长贡献相对缓慢,但呈逐年增长之趋势,5年后有机肥处理土壤碱解氮含量水平超过无机肥处理^[6]。持续施用化肥固然略可提高土壤的供氮力,但真正能扩大土壤有机氮库、显著提高土壤供氮力并使土壤在供氮的方式方面具有渐进性和持续性者便唯有施用有机肥^[7]。Cooke^[8]认为,在高产条件下,厩肥优于化肥的原因之一便是前者的供氮方式较之化肥更适合作物根系对氮的吸收,而并非是由于有机肥的施用改变了土壤物理状态的缘故。但是有机肥料的施用量不断增加,会导致肥料利用率降低和增加农田磷的地表径流流失量,加速了地表水体的富营养化^[9-11],对环境造成污染。为此,采用长期定位试验,研究了不同有机肥用量对作物产量、土壤肥力以及土壤养分收支的影响,以期为合理施用有机肥提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2002~2006年在中国科学院沈阳生态实验站进行。该实验站位于沈阳市以南35 km(41°32'N,122°23'E),地处下辽河平原,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,雨热同季,夏天炎热,冬天寒冷,年平均温度7~8℃,夏季平均气温24℃,最高温度39.3℃,最低温度-33.1℃。≥10℃活动积温为3300~3400℃,太阳总辐射量为5409.9~5599.8 kJ/cm²,年降雨量为650~700 mm,年蒸发量1480~1756 mm,干燥度为0.9,无霜期为147~164 d,平均早霜期出现在9月下旬,10月中旬后常有严霜。供试土壤为潮棕壤,试验开始时土壤的本底农化性状为:pH 6.4,有机质含量19.91 g/kg,全氮1.0 g/kg,有效磷11.3 mg/kg,速效钾103.0 mg/kg。试验设4个有机肥用量,即:不施肥(M0)、低量有机肥(M1)、中量有机肥(M2)、高量有机肥(M3)。有机肥种类为猪圈肥,每年施用前取样,并测其干率和氮、磷、钾含量,具体施用量如表1所示。田间试验重复3次,轮作方式为大豆—玉米—玉米,小区面积为108 m²。

1.2 样品采集和测定项目与方法

每年作物收获季节采用S形布点随机采取5点玉米样品,每8株作为一个样点。子实和秸秆(除子实以外的所有地上收获部分混合)经烘干粉碎混匀后取样分析。植物全氮用凯氏定氮法;全磷用硫酸联合消解—钼锑抗比色法;全钾用三酸消解—火焰

表1 2002~2006年各处理的有机肥施用量
Table 1 Manure application rates in different treatments from 2002 to 2006

年份 Year	处理 Treat.	有机肥用量 Manure rate (kg/hm ²)	养分含量(kg/hm ²) Nutrient content		
			N	P	K
2002	M1	8765	60	53	80
	M2	21914	150	132	199
	M3	43827	300	263	398
2003	M1	11636	60	70	115
	M2	29105	150	174	289
	M3	58210	300	349	577
2004	M1	7315	60	51	83
	M2	18302	150	128	207
	M3	36605	300	256	414
2005	M1	7469	60	36	61
	M2	18642	150	90	153
	M3	37284	300	179	305
2006	M1	7099	60	36	61
	M2	17716	150	89	152
	M3	35432	300	178	304
总计 Total	M1	42284	300	245	400
	M2	105679	750	612	999
	M3	211358	1500	1225	1999

光度计法测定。

每年作物收获季节取耕层(0—15 cm)土样,每小区采3个样品,每个样品均为多点混合。土壤全碳、全氮用元素分析仪测定;土壤全磷用碳酸钠熔融—钼锑抗比色法测定;土壤全钾用氢氧化钠碱融—火焰光度计法测定;土壤碱解氮用碱解扩散法测定;土壤有效磷用0.5 mol/L NaHCO₃浸提—钼锑抗比色法测定;土壤速效钾用乙酸铵提取—火焰光度计法测定;土壤缓效钾的测定采用1mol/L的硝酸提取—火焰光度计法测定。

试验数据应用Microsoft Excel 2000和SPSS11.0统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 作物产量

表2看出,不同有机肥用量对玉米产量影响很大。施低量、中量和高量有机肥显著提高玉米子实产量,分别比对照(6106 kg/hm²)处理增长32.07%、49.10%和55.26%。高量和中量有机肥处理的玉米子实产量无显著性差异,但显著高于低量处理的玉米产量,说明中量有机肥已能满足玉米对养分的需求(表2)。秸秆产量与子实类似,施有机肥处理的

玉米秸秆产量均显著高于对照处理,而中量处理与低量和高量之间并无明显的差异,但高量处理明显高于低量处理。

表 2 还看出,无论玉米子实还是秸秆,施有机肥处理玉米产量的变异系数均小于对照处理,且随着有机肥用量的增加,玉米子实变异系数随之降低,说

明施有机肥不仅有明显的增产作用,还有显著的稳产作用,可以适应不同的气候年景。另外,在下辽河平原气候条件下,无论施肥与否,玉米子实产量与秸秆产量之比变化不大,基本维持在 1.1 左右(变异系数仅为 2.32%),利用此数值可以通过玉米子实产量来估测玉米秸秆产量。

表 2 2002~2006 年不同有机肥用量处理玉米子实和秸秆的平均产量(kg/hm^2)

Table 2 Average yields of crop grain and stalk at different manure application rates from 2002 to 2006

处理 Treat.	子实产量 Grain yields	变异系数 CV(%)	秸秆产量 Stalk yields	变异系数 CV(%)	子实产量/秸秆产量 Grain/Stalk ratio
M0	6106 ± 1657 a	27.14	5450 ± 1527 a	28.02	1.12
M1	8064 ± 1145 b	14.20	7282 ± 879 b	12.08	1.10
M2	9104 ± 812 c	8.92	7995 ± 1099 bc	13.74	1.14
M3	9480 ± 621 c	6.56	8779 ± 1404 c	15.99	1.08

注(Note): 不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同 Different letters mean significant at 5% level, and the same as Table 3.

2.2 土壤有机碳

不施有机肥情况下,0—15 cm 土层土壤有机碳呈缓慢下降趋势,5 年下降幅度为 1.05 g/kg,且达到显著水平。平均每年耕层土壤有机碳下降 0.21 g/kg,相当于土壤有机碳起始浓度的 1.85%。施用低量有机肥,土壤有机碳并未明显增加,而中量和高量处理土壤有机碳含量却有显著的增加(表 3)。通过 5 年施用有机肥,耕层土壤有机碳浓度提高幅度为 0.52~5.00 g/kg,平均为 2.36 g/kg,年上升幅度为 0.47 g/kg。考虑到不施有机肥处理区土壤有机碳在 5 年间下降了 1.05 g/kg,则 5 年中有机肥处理区耕层土壤有机碳积累浓度应为 3.41 g/kg。以低量有机肥处理为例,5 年输入的总有机碳量为 4587.64 kg/hm^2 ,土壤有机碳总量增加了 1204.50

kg/hm^2 ,则 5 年间土壤有机碳残留率为 26.26%,同理,可以算出中量和高量有机肥处理有机碳残留率分别为 25.46% 和 37.47%。表明有机肥对土壤有机碳的积累和增长有着明显的作用,即使高量有机肥处理,土壤有机碳库仍在不断增长之中,尚未达到平衡。

土壤有机碳含量与作物产量的相关分析表明,作物产量和土壤有机碳含量呈正相关性($r = 0.7199$),即土壤有机碳含量高,作物的产量也高。但土壤有机碳含量并非越高越好,至于不同土壤的有机碳含量的适宜值目前尚无明确标准^[7]。需要指出的是,在本试验中,土壤有机碳含量最高为 17.17 g/kg,超出此范围时以上结论是否正确尚需进一步研究。

表 3 不同有机肥用量对土壤全量养分的影响(g/kg)

Table 3 Effects of different manure application rates on total nutrients in soil

处理 Treat.	年份 Year	有机碳 Organic C	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K
M0	本底 Original	11.38 ± 0.07 a	1.00 ± 0.01 a	0.48 ± 0.01 a	15.47 ± 0.26 a
	2006	10.33 ± 0.18 b	0.92 ± 0.02 b	0.43 ± 0.01 b	15.82 ± 0.40 a
M1	本底 Original	11.56 ± 0.60 a	1.05 ± 0.05 a	0.45 ± 0.01 b	16.71 ± 0.57 a
	2006	12.08 ± 0.69 a	1.03 ± 0.00 a	0.54 ± 0.03 a	16.21 ± 0.08 a
M2	本底 Original	11.06 ± 0.60 b	0.98 ± 0.02 b	0.46 ± 0.04 b	16.72 ± 0.56 a
	2006	12.61 ± 0.40 a	1.14 ± 0.06 a	0.71 ± 0.04 a	16.34 ± 0.06 a
M3	本底 Original	12.17 ± 1.46 b	0.98 ± 0.03 b	0.49 ± 0.01 b	16.38 ± 0.50 a
	2006	17.17 ± 1.59 a	1.36 ± 0.14 a	0.99 ± 0.06 a	16.48 ± 0.42 a

2.3 土壤氮素

在不施有机肥的情况下,耕层土壤全氮浓度亦呈显著缓慢下降趋势,5年下降幅度为0.08 g/kg,平均每年约下降0.02 g/kg,相当于土壤全氮起始浓度的2.00%(表3)。低量有机肥处理5年间耕层土壤全氮浓度略有下降,但并未达到显著水平;中量有机肥处理全氮浓度有明显的提高;高量有机肥处理的土壤全氮浓度大幅增加,5年间耕层共增加了0.38 g/kg,平均每年约增加0.08 g/kg。可见,耕层土壤全氮的积累和增长与有机肥的施用量有着密切的关系。

试验起始时各处理土壤碱解氮含量均在100 mg/kg以上,不同处理之间的变异系数仅为1.21%,说明起始土壤肥力水平是比较均匀的。在不施肥情况下,农田土壤的氮素肥力主要是靠生物固氮作用和干湿沉降而得以维持,氮素肥力只能保持在较低的水平。图1看出,对照处理的土壤碱解氮含量逐年下降趋势,5年间共下降了16.02 mg/kg,降幅为14.98%,且有继续下降的趋势;施低量有机肥处理5年间下降了9.19 mg/kg,降幅为8.66%,说明施用低量有机肥虽可缓解土壤碱解氮的下降,但仍呈下降趋势;中量有机肥处理的土壤碱解氮含量变化不大,基本上能维持试验起始时水平;高量有机肥处理的土壤碱解氮含量呈上升趋势,5年间上升了16.31 mg/kg,提高了15.47%,平均每年增加3.26 mg/kg。可以看出,土壤碱解氮含量随着有机肥用量的增加而增加。

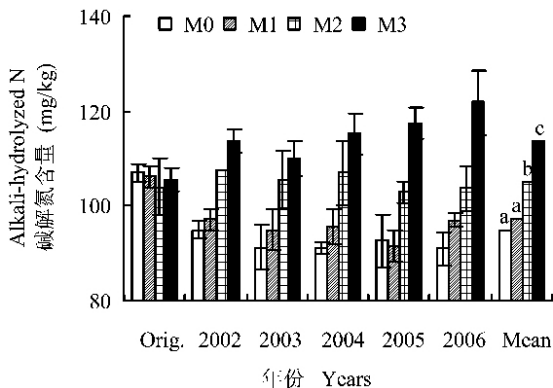


图1 不同有机肥用量对土壤碱解氮含量的影响

Fig.1 Effects of different manure application rates on soil alkali-hydrolyzed N

2.4 土壤磷素

土壤全磷含量变化趋势与土壤有机碳含量的变

化趋势相似(表3)。图2看出,对照处理的土壤有效磷本底值仅在11 mg/kg左右,经过2年作物消耗后呈下降趋势,以后逐渐稳定在7 mg/kg左右。可见,当土壤速效磷降到一定水平时,土壤有效磷收支的亏值与土壤有效磷的下降幅度之间不存在等比例关系,持续而少量的土壤磷收支赤字并不能引起土壤有效磷水平的不断下降,相反,可以在一个水平上趋于稳定。

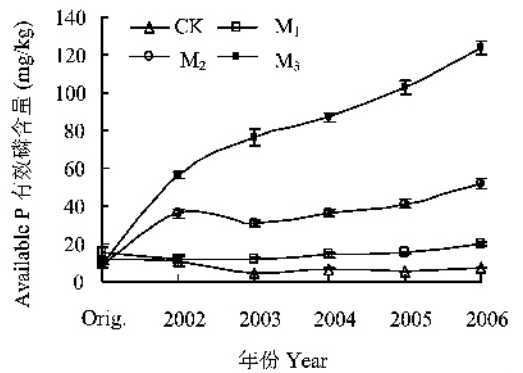


图2 不同有机肥施用量对土壤有效磷含量的影响

Fig.2 Effects of different manure application rates on soil available P

当土壤因持续施肥而使全磷量不断增长时,土壤有效磷含量亦随之增长,并且在很大范围内两者的增长几乎呈直线相关(图3)。按平均计算,土壤全磷增量(收支盈余量)的11.42%进入了土壤有效磷库。理论上推测,当土壤中磷的吸附点因土壤中残留磷的增加而逐渐趋于饱和时,残留磷转入有效磷库的比例应不断增长,但从试验结果看,这一类土壤的有效磷即使达到123.50 mg/kg,土壤全磷增长

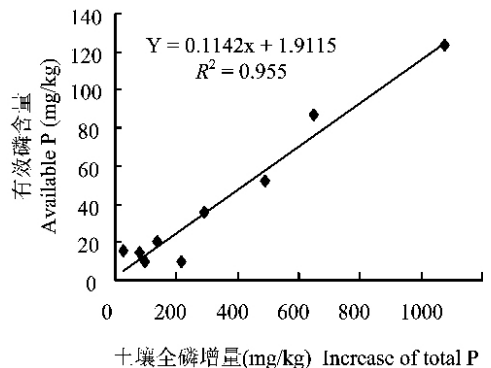


图3 土壤全磷增量与土壤有效磷的相关性

Fig.3 Correlation between soil available P and the increase of total P

量达到 1076.24 kg/hm² 似乎也尚未达到土壤磷吸附的饱和点, 否则土壤全磷盈余值的进一步增长势必导致土壤有效磷的大幅度上升。

2.5 土壤钾素

在不施钾肥情况下, 连续种植作物, 土壤钾素被作物不断吸收, 因此在初始阶段, 土壤速效钾含量下降较快, 经过 2 茬作物后, 土壤速效钾含量由 96.39 mg/kg 下降到 82.11 mg/kg, 后 3 年下降速度有所减缓, 仅下降了 5.40 mg/kg。由于土壤速效钾、缓效钾之间存在动态平衡, 作物吸收部分钾素后土壤中剩下部分的速效钾就会被更强烈的吸持着, 进入土壤溶液的钾减少, 作物吸收量也就减少, 土壤速效钾不再继续下降而趋于平缓, 维持在“最低水平值”。这同其他相关研究结果一致^[12-13]。

图 4 表明, 施有机肥处理的土壤速效钾含量均呈逐年上升趋势。低量有机肥处理, 土壤速效钾含

量由本底的 98.15 mg/kg 提高到 109.13 mg/kg, 增幅达 11.19%, 差异显著; 高量有机肥处理的土壤速效钾含量增幅达 24.31%。说明施有机肥能显著提高土壤速效钾含量, 且随着有机肥用量的增加而增加。速效钾含量是一个容易变动的数值, 而要评定一定时期内土壤的供钾能力, 一般都根据含量相对的稳定缓效钾储量及其转化速率。图 4 还看出, 在不施肥情况下, 土壤的缓效钾含量在前 2 年尚能维持在初始水平, 但随种植年限延长, 土壤缓效钾含量则逐年下降。5 年间耕层土壤缓效钾含量降低了 29.58 mg/kg, 平均每年下降 5.92 mg/kg。而施入有机肥的处理, 土壤缓效钾含量有明显的上升, 5 年间共提高 103.69 ~ 160.37 mg/kg, 3 个处理平均为 126.75 mg/kg, 且随着有机肥施用量的增加其提高幅度也在逐渐加大, 但处理间差异不显著。

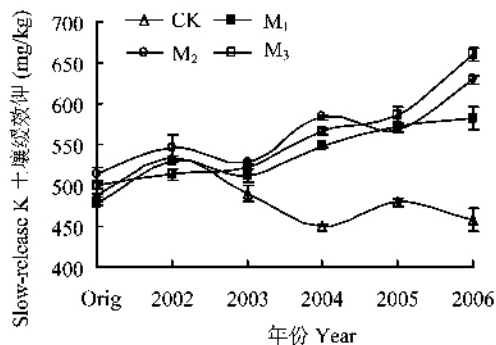
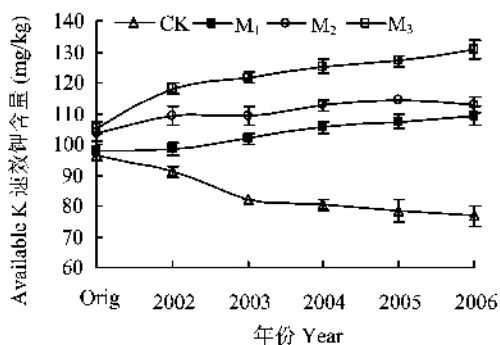


图 4 不同有机肥用量对土壤速效钾和缓效钾含量的影响

Fig. 4 Effects of different manure application rates on soil available K and slow-release K

2.6 土壤养分收入与支出

各施肥处理 5 年的累计养分收支, 其中收入项为施肥输入养分, 支出项为作物收获移出养分, 不包括其他的养分收支项, 如大气沉降、生物固氮等的养分输入和氨挥发、反硝化、淋失等的养分支出, 因此这里仅就养分的施肥输入和作物收获移出两项进行比较。

表 4 看出, 不施肥和施低量有机肥处理, 由于氮输入量较少, 无法维持土壤氮的收支平衡, 5 年间土壤氮赤字数量分别为 515.95 和 384.40 kg/hm², 这与土壤全氮和土壤碱解氮含量的变化趋势一致; 中量有机肥处理, 土壤氮收支基本保持不变; 高量有机肥处理, 土壤氮有大量的盈余。同样, 5 年间不施肥处理土壤磷、钾赤字分别为 66.38 kg/hm² 和 184.26 kg/hm², 施有机肥处理均能使土壤磷、钾保证盈余,

且随着输入量的增加而增加。

施高量有机肥作物移出的氮量为 817.61 kg/hm², 对照处理作物移出的氮量为 515.95 kg/hm², 即作物移出的氮量有 301.66 kg/hm² 来自于输入的有机肥。根据土壤全氮 5 年增加了 0.38 g/kg (表 3) 计算, 5 年耕层土壤全氮增加量为 627.00 kg/hm²; 而输入的氮总量为 1500 kg/hm², 氮共损失了 571.34 kg/hm², 损失率高达 38.09%。高量有机肥处理磷的损失率为 13.62%。理论上磷肥几乎无损失, 而本试验所得结果可能是由于磷肥用量较大, 且耕层仅为 0—15 cm, 可能有部分的磷迁移到耕层以下或全磷测定误差所致 (在熔融过程中可能会因升温过快, 导致溶液迸溅出来, 造成测定结果偏低)。由于土壤钾库极大, 即使连续 5 年大量施入钾肥 (有机肥), 亦不能使土壤全钾含量增加, 但钾肥的施用

表 4 2002~2006 年期间土壤养分收支 (kg/hm²)
Table 4 Budget of nutrients in soil from 2002 to 2006

处理 Treatment	收入 Inputs	支出 Outputs	收支 Budget
N			
M0	0	515.95	- 515.95
M1	300	684.40	- 384.40
M2	750	740.64	9.36
M3	1500	817.61	682.39
P			
M0	0	66.38	- 66.38
M1	245	114.99	130.01
M2	612.5	129.03	483.47
M3	1225	152.46	1072.54
K			
M0	0	184.26	- 184.26
M1	400	263.01	136.99
M2	1000	281.41	718.59
M3	2000	337.35	1662.65

显然提高了土壤速效钾和缓效钾的含量。

3 讨论

本试验结果表明,不施有机肥处理,土壤有机碳、全氮和全磷含量均有所下降,这与许多研究结果^[14-16]一致;但也有研究者得出相反的结论^[17],可能是由于土壤质地不同造成的。低量有机肥处理,土壤有机碳、全氮和全磷含量基本稳定;中量和高量有机肥处理,土壤有机碳、全氮和全磷含量则有显著升高。这与汪芝寿等的研究结果一致^[18]。蒋仁成等^[19]的研究也表明,施用有机肥能显著提高土壤中全氮和全碳含量;周建斌等^[20]研究认为,土壤有机质含量与有机肥施用年限具有极显著的正相关关系,且土壤有机质的增加量与有机肥的施用量有密切关系。而土壤钾含量与其他元素有所不同,施用有机肥对全钾含量并无明显影响^[21]。

土壤中碱解氮含量随着有机肥用量的增加而增加,呈极好的相关性。这与前人的结果基本一致^[22-23]。已有的研究表明,在不施磷肥情况下,土壤有效磷浓度下降速率明显受土壤有效磷水平制约,当土壤起始有效磷水平很高时,一旦停止施用磷肥,土壤有效磷浓度便迅速的、几乎呈直线的下降;起始土壤的速效磷含量越高,其下降幅度越大,若干年后其下降速率才逐渐减缓。对于有效磷基础水平低的土壤,不施肥并连续种植作物也只能使土壤有效磷浓度缓慢下降,而且稳定在一个较低的水平

下^[24]。本研究表明,不施肥处理土壤有效磷浓度先呈迅速下降趋势,而后渐缓,这与上述的研究结论一致。

本试验表明,施用有机肥处理,能显著提高土壤有效磷浓度,且随有机肥用量的增加而增加。刘树堂等^[25]的研究表明,施用有机肥能显著提高土壤有效磷含量,且高量有机肥的效果远高于低量有机肥;史吉平等^[26]的结果看出,长期施用有机肥,尤其是厩肥,能显著提高土壤有效磷含量,这首先是有机肥本身含有一定数量的磷且以有机磷为主,这部分磷易于分解、释放;其次有机肥施入土壤后可增加土壤的有机质含量,进而减少无机磷的固定,并促进无机磷的溶解。有机肥与无机肥配合施用比单施有机肥更能提高土壤有效磷含量。这可能是由于施用有机肥主要增加了有机磷含量的缘故^[27]。本试验同样表明,施用有机肥处理,能显著提高土壤有效磷浓度,且随有机肥用量的增加而增加。在本试验中,对照处理的土壤速效钾和缓效钾浓度一直呈下降趋势,不过后期下降幅度有所减缓。施用有机肥的处理,土壤速效钾和缓效钾浓度都有所升高,特别是中、高量处理,当钾肥量超过了植物所需,过多的部分就被土壤固定。已有长期定位试验证明,施入土壤中的全部肥料钾最终都将被植物吸收^[28]。因此,只要土壤对钾有足够多的束缚位,且肥料的施用是经济的,就不必担心推荐的钾肥施用量大于作物生长直接的需钾量^[29]。

参考文献:

- [1] 孔令聪,曹承富,汪芝寿,等. 长期定位施肥对砂姜黑土肥力及生产力的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 101-104.
Kong L C, Cao C F, Wang Z S *et al.* Effects of a long-term located fertilization on the fertility and productivity of Shajiang Black Soil [J]. Chin. J. Eco-Agric., 2004, 12(2): 101-104.
- [2] 马俊永,李科江,曹彩云,郑春莲. 有机-无机肥长期配施对潮土土壤肥力和作物产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 236-241.
Ma J Y, Li K J, Cao C Y, Zheng C L. Effect of long-term located organic-inorganic fertilizer application on fluvo-aquic soil fertility and crop yield [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(2): 236-241.
- [3] Jenkinson D S. Continuity in agricultural research-benefits for today and lessons for the future [J]. J. Roy. Agric. Soc. Engl., 1994, 155: 130-139.
- [4] 莫淑勋,钱菊芳,钱承梁. 猪粪等有机肥料中磷素养分循环再利用的研究[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 309-315.
Mo S X, Qian J F, Qian C L. Studies on phosphorus of organic manures and its reutilization [J]. Acta Pedol. Sin., 1991, 28(3): 309

- 315.
- [5] 殷秀岩,宇万太,张璐,等. 农业系统中磷肥残效及磷循环研究Ⅲ 投料中磷和氮在饲养—堆腐环中的循环率及有机肥料中养分的利用率[J]. 应用生态学报,1992,3(3): 236-239.
Yin X Y, Yu W T, Zhang L *et al.* Residual effect of phosphorous fertilizer and phosphorous recycling in a farming system Ⅲ. Recycling rate of P and N in feed stuffs and bedding materials through a feeding-composting cycle and recoveries of P and N in organic manure [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 1992, 3(3): 236-239.
- [6] 唐继伟,林治安,许建新,等. 有机肥与无机肥在提高土壤肥力中的作用[J]. 中国土壤与肥料,2006, (3): 44-47.
Tang J W, Lin Z A, Xu J X *et al.* Effect of organic manure and chemical fertilizer on soil nutrient [J]. Soil Fert. Sci. China, 2006, (3): 44-47.
- [7] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社,1998.
Shen S M. Soil fertility in China [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1998.
- [8] Cooke G W. The roles of organic matter in managing soils for higher crop yields-A review of the experimental evidence [A]. Process of the international seminar on soil environment and fertility management in intensive agriculture [C]. Tokyo, Japan, 1977. 53-64.
- [9] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染估计及控制对策 I. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学,2004,34: 1008-1017.
Zhang W L, Wu S X, Ji H J *et al.* Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century [J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 34: 1008-1017.
- [10] Sharpley A, Tunney H. Phosphorus research strategies to meet agricultural and environmental challenges of 21st century [J]. J. Environ. Qual., 2000, 29:176-181.
- [11] Sharpley A N, McDowell R W, Weld J L *et al.* Assessing site vulnerability to phosphorus loss in an agricultural watershed [J]. J. Environ. Qual., 2001, 30: 2026-2036.
- [12] 杨振明,周文佐,鲍士旦. 我国主要土壤供钾能力的综合评价[J]. 土壤学报,1999,36(3): 377-385.
Yang Z M, Zhou W Z, Bao S D. Comprehensive evaluation on potassium supplying potential of main soils in China [J]. Acta Pedol. Sin., 1999, 36(3): 377-385.
- [13] 张漱茗,闫华,刘光栋,刘兆辉. 山东主要土壤供钾能力和非交换性钾释放的研究[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(3): 26-31.
Zhang S M, Yan H, Liu G D, Liu Z H. Soil K supplying capacity and release of non-exchangeable K in Shandong soils [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1999, 5(3): 26-31.
- [14] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等. 长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5): 789-794.
Liu E K, Zhao B Q, Hu C H *et al.* Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer applications on maize yield and soil fertility [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(5): 789-794.
- [15] 邱多生,李恋卿,焦少俊,等. 长期不同施肥下太湖地区黄泥土肥力的变化[J]. 土壤肥料,2005,(4): 28-32.
Qiu D S, Li L Q, Jiao S J *et al.* Change of soil fertility under long-term different fertilization practices in a paddy soil from the Tai Lake region [J]. Soil Fert., 2005, (4): 28-32.
- [16] 兰晓泉,郭贤仕. 旱地长期施肥对土地生产力和肥力的影响[J]. 土壤通报,2001,32(3): 102-105.
Lan X Q, Guo X S. Effects of long-term fertilization on land productivity and fertility [J]. Chin. J. Soil Sci., 2001, 32(3): 102-105.
- [17] 高瑞,吕家珑,田福忠. 连续施肥对壤土肥力及产量的影响[J]. 土壤通报,2006,37(4): 824-826.
Gao R, Lü J L, Tian F Z. Effect of fertilization on Lou-soil fertility and crop yield [J]. Chin. J. Soil Sci., 2006, 37(4): 824-826.
- [18] 汪芝寿,曹承富,孔令聪. 施肥对土壤肥力和作物产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学,1995,23(3): 240-242.
Wang Z S, Cao C F, Kong L C. Effects of fertilizers on crop yields and soil fertility [J]. J. Anhui Agric. Sci., 1995, 23(3): 240-242.
- [19] 蒋仁成,厉志华,李德民. 有机肥和无机肥在提高黄潮土肥力中的作用研究[J]. 土壤学报,1990,27(2): 179-185.
Jiang R C, Li Z H, Li D M. Studies on role of chemical and organic fertilizer in promoting the fertility of yellow fluvo-aquic soils [J]. Acta Pedol. Sin., 1990, 27(2): 179-185.
- [20] 周建斌,李昌纬,赵伯善,等. 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的变化[J]. 西北农业大学学报,1993,21(2): 61-65.
Zhou J B, Li C W, Zhao B S *et al.* Fixed position experiments of inorganic fertilizer and organic manure in balance application to lou soil variations in crop yields and soil nutrients [J]. Acta Univ. Agric. Bor.-Occid., 1993, 21(2): 61-65.
- [21] Lal S, Mathur B S, Sinha K. Effect of long-term fertilization, manuring and liming of an Alfisol on maize, wheat and soil properties. Ⅲ. Forms of potassium [J]. J. Ind. Soc. Soil Sci., 1990, 38: 21-26.
- [22] 苏娜,杨丽娟,周崇俊,等. 有机肥与氮肥配施对设施土壤中碱解氮含量的影响[J]. 安徽农业科学,2006,34(24): 6542-6543.
Su N, Yang L J, Zhou C J *et al.* Effect of the application of organic and nitrogen fertilizer on the content of alkali hydrolysable N in soil [J]. J. Anhui. Agric. Sci., 2006, 34(24): 6542-6543.
- [23] 孙福来,张延霞,庞祥锋,等. 长期定位施肥对土壤有机质和碱解氮及冬小麦产量的影响[J]. 土壤通报,2007, 38(5): 1016-1018.
Sun F L, Zhang Y X, Pang X F *et al.* Effects of long-term fertilization on soil organic matter, available N and wheat yield [J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(5): 1016-1018.
- [24] 曲均峰,李菊梅,徐明岗,等. 长期不施肥条件下几种典型土壤全磷和 Olsen-P 的变化[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(1): 90-98.
Qu J F, Li J M, Xu M G *et al.* Total-P and Olsen-P dynamics of long-term experiment without fertilization [J]. Plant Nutr. Fert Sci., 2008, 14(1): 90-98.
- [25] 刘树堂,姚源喜,隋方功,等. 长期定位施肥对土壤磷、钾素动态变化的影响[J]. 生态环境,2003,12(4): 452-455.

- Liu S T , Yao Y X , Sui F G *et al.* Effects of long-term fertilization on dynamics of phosphorus and potassium in soil [J]. *Ecol. Environ.* , 2003 , 12(4) : 452-455.
- [26] 史吉平 , 张夫道 , 林葆 . 长期施用氮磷钾化肥和有机肥对土壤氮磷钾养分的影响 [J]. *土壤肥料* , 1998 (1) : 7-10.
- Shi J P , Zhang F D , Lin B. Effects of application with fertilizers and manure on nitrogen , phosphorous and potassium [J]. *Soil Fert.* , 1998 (1) : 7-10.
- [27] 林炎金 , 林增泉 . 连续十年施用不同肥料对土壤养分积累的研究 [J]. *福建省农科院学报* , 1994 (3) : 31-35.
- Lin Y J , Lin Z Q. Effect of ten-year successive application of different fertilizers on accumulation of soil nutrients [J]. *J. Fujian Acad. Agric. Sci.* , 1994 , 9(3) : 31-35.
- [28] 宇万太 , 姜子绍 , 张璐 , 等 . 不同施肥制度下潮棕壤钾素肥力变化和土壤缺钾指标 [J]. *应用生态学报* , 2006 , 17(12) : 2337-2340.
- Yu W T , Jiang Z S , Zhang L *et al.* The K fertility changes and index of K scarcity in different fertilization systems on an aquic brown soil [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.* , 2006 , 17(12) : 2337-2340.
- [29] 鲁剑巍 , 陈防 , 余常兵 , 等 . 油菜施钾效果及土壤速效钾临界值初步判断 [J]. *中国油料作物学报* , 2003 , 25(4) : 107-112.
- Lu J W , Chen F , Yu C B *et al.* Response of rapeseed yield to K application and primary study of soft critical available K content for rapeseed [J]. *Chin. J. Oil Crop Sci.* , 2003 , 25(4) : 107-112.