

绿洲农田不同施肥处理对土壤养分和作物产量的影响

刘 燕,唐立松,李 彦

(中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘 要: 为充分了解绿洲农田农业生态系统养分循环规律,利用长期定位实验的方法,初步探讨了不同施肥处理下,绿洲农田的土壤养分及作物产量变化。结果表明:不同施肥处理对土壤养分含量有明显影响。其中,化肥与有机肥配合施用处理的土壤养分含量最高,无肥 CK 处理养分含量最低,尤其是化肥与有机肥配合施用处理的有机质、全 N 和碱解氮分别比对照区平均高 1.5 g/kg、0.19 g/kg 和 10.5 mg/kg,其他各处理养分含量处于二者之间。结果还表明,作物产量与土壤养分含量相关,尤其是与土壤有机质、全 N、碱解 N 的含量关系密切,制约产量的首要养分因素是 N 素,其次是 P 素。CK 处理由于连年作物吸收及收获带走养分,使土壤的有效养分库消耗很快,致使作物产量逐渐降低。P、K 处理作物产量变化趋势和 CK 处理基本一致,进一步表明了 N 素是影响绿洲农田作物产量的首要因素。对各处理的土壤养分和作物产量变化研究表明,化肥与有机肥配合施用处理作物产量最高,平均为 4 010.8 kg/hm²,因此化肥与有机肥配合施用可能是提高绿洲农田土壤肥力,增加作物产量的最佳施肥方式。

关键词: 长期定位实验;施肥处理;土壤养分;作物产量

中图分类号: S147.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0151-06

长期定位实验可以为研究不同管理措施对生态环境、土壤肥力及作物产量的影响提供可靠的数据,在国内外受到广泛的重视。国外开始长期定位实验比较早,著名的英国洛桑实验站,已有 150 多年的历史。德、美、法等国在 19 世纪末和 20 世纪初也陆续布置了一批长期实验。国内长期定位实验起步比较晚,由于各种原因,保存完整的并不多。近年来,由于农田施肥量增加、施肥方式不当,已给大气、水体带来不同程度的污染^[1~4]。为了提高作物产量,维护生态环境,需要研究如何合理施肥,才能提高土壤肥力、增加作物产量,并将对生态环境的污染降到最低^[5~9],长期定位实验则是达到这个目的不可替代的有效手段。国内对长期定位实验的研究比较多,如丁宁平、党廷辉等^[10,11]在旱地进行的长期定位施肥实验,对土壤养分和作物产量进行研究,樊军^[12]、孟磊^[13]、张奇春^[14]、范钦桢^[15]等分别研究了长期定位施肥对土壤酶、土壤碳储量、土壤微生物和土壤钾素及作物产量的影响。中国科学院阜康荒漠生态系统观测实验站的土壤养分长期定位实验,已有 16 年的历史,为研究绿洲农田不同管理措施下,土壤养分以及作物产量的变化趋势积累了宝贵的数据。本研究选取了该实验的部分数据,探讨了不同施肥处理对土壤养分和作物产量的影响,以期为新

疆绿洲农田的土壤培肥与作物增产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验地点与供试土壤

土壤养分长期定位实验地位于中国科学院阜康荒漠生态系统观测实验站(44°17'N, 87°56'E, 海拔 475 m),该区域属于欧亚大陆腹地典型的温带大陆性荒漠气候,夏季炎热干燥,冬季寒冷。多年的平均温度为 6.6℃;大于 10℃ 积温为 3 520℃;总辐射量为 5 447 MJ/m²;无霜期 156 d;降水量为 160 mm;蒸发量可达 2 000 mm。土壤类型为灰漠土,质地属粉砂壤土,容重 1.26 g/cm³ 左右,土壤养分基本状况^[16]如表 1。

1.2 实验设计

长期养分定位实验经过匀地,1989~1990 年进行永久性小区田块的基建,每个小区周围以 1 m×0.8 m 的钢筋水泥板相隔,每区面积 33.3 m²。种植作物为石冬 5 号冬小麦,播种量 300 kg/hm²,四周设有作物保护区。正式实验从 1991 年开始,作物单收、单打。每年 9 月播种,第二年 6 月底至 7 月初收获。实验地设专人管理,全部人工翻地、播种、施肥,利用水表控制灌溉量。本文选取了其中的六个处理,分别为:CK(无肥处理)、NK(无 P 肥处理)、NP

收稿日期:2007-12-27

基金项目:中国科学院西部之光项目;中国科学院新疆生态与地理研究所“绿洲学者”计划项目;所长基金项目

作者简介:刘 燕(1980—),女,河南永城人,在读硕士研究生,研究方向为生态学。E-mail:liuyan_92780@sina.com;liuyan_92780@126.com.

通讯作者:李 彦,E-mail:liyan@ms.xjb.ac.cn.

(无 K 肥处理)、PK (无 N 肥处理)、NPK (全肥处理)、NPK+300 kg 秸秆 (化肥与有机肥配施处理), 每个处理四次重复。施肥量: N 素为 150 kg/hm², P (P₂O₅) 为 75 kg/hm², K (K₂O) 为 4 kg/hm²。施肥时间及方法为: 小麦秸秆 4 500 kg/hm² 作基肥一次性

施入, P (过磷酸钙) 肥和 K (硫酸钾) 肥均在播种前一次性作为冬小麦的基肥施用, N (尿素) 肥施用量为 150 kg/hm², 基施 45%, 返青时施 30%, 拔节时施 25%。本实验从 1991 年持续至今。

表 1 供试土壤的基本性状
Table 1 Some basic properties of soils used for experiments

有机质 Organic matter (g/kg)	全 N Total N (g/kg)	全 P Total P (g/kg)	全 K Total K (g/kg)	碱解 N Available N (mg/kg)	有效 P Available P (mg/kg)	速效 K Available K (mg/kg)
7.70	0.30	2.30	24.30	51.33	23.80	546.60

1.3 样品采集与测定方法

每年冬小麦收获后进行土样采集、分析, 每区采样按照 S 形多点采样混合, 采样层 0~25 cm 土样, 风干, 研磨过筛, 用于土壤养分测定。测定项目包括有机质、全量 N、P、K 及速效 N、P、K。测定方法如下: 土壤有机质用硫酸—重铬酸钾湿烧法; 土壤全氮用半微量凯氏定氮法; 土壤全磷用酸溶—钼锑抗比色法; 土壤全钾用酸溶—原子吸收法; 土壤速效钾用 1 mol/L NH₄ Ac 浸提原子吸收法; 土壤速效磷用 0.5 mol/L NaHCO₃ (pH8.5) 浸提—钼锑抗比色法; 土壤碱解氮采用碱解扩散法。对这些土壤指标的分析方法均参考《土壤农业化学分析方法》(鲁如坤主编, 1999)。同时为了尽量减少实验分析误差, 由专用分析仪器和专人负责采样分析。

2 结果分析

2.1 不同施肥处理对土壤养分的影响

2.1.1 不同施肥处理对土壤有机质的影响 从图

1 各施肥处理的土壤有机质状况可以看出, 经过 10 余年的耕作, 土壤的有机质平均含量都有所提高。其中 NPK+300 kg 秸秆的施肥处理对土壤有机质的增加明显高于其他处理, 并且保持持续增长的趋势, 含量由 7.5 g/kg 增加到 9.7 g/kg。NPK 和 NP、NK、PK 处理的有机质含量变化趋势基本一致, 随着耕作年限的延长先增加后降低, 但是总体呈增加的趋势。有机质含量下降的原因可能是实验处理养分投入还不够高, 而且随着农田生态系统的循环, 作物带走的土壤易矿化的有机氮素在增加。本实验的另一组处理, 化肥用量比本文采用的处理提高了 1 倍, 有机质、全 N、碱解 N、速效 P 都有不同程度的升高^[16]。同时从图中还可以看出, 与 NPK 全肥处理比较, NP 肥处理的有机质含量与 NPK 肥处理的含量变化趋势基本一致, 而且很接近, 其次是 NK 肥处理的含量较高, 含量最低的是 PK 和 CK 肥处理。

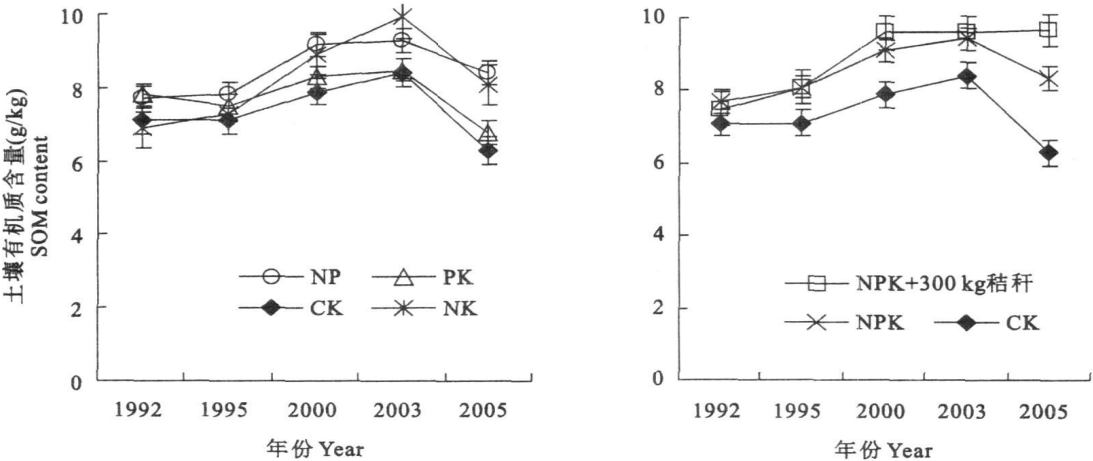


图 1 不同施肥处理土壤有机质含量的变化
Fig. 1 Changes in soil organic matter content under different fertilization treatments

2.1.2 不同施肥处理对土壤 N 素的影响 由图 2 可以看出,各处理土壤的全 N 含量的变化趋势和土壤的有机质变化趋势基本一致,都在逐渐升高。其中 NPK+300 kg 秸秆处理的全 N 含量最高,平均含量为 0.60 g/kg,并且含量持续升高,由初始的 0.43 g/kg 增加到 0.84 g/kg。NPK 处理和 NP 处理的土壤全 N 含量基本一致,平均含量分别为 0.46 g/kg 和 0.47 g/kg。其次是 NK 处理平均含量为 0.44 g/kg,含量最低的是 PK 和 CK 处理,平均值分别为 0.42 g/kg 和 0.41 g/kg。各处理土壤的碱解氮含量变化比较大,总体呈增加的趋势,只是 PK 和

CK 处理在 2003 年出现最低含量,其他施 N 肥的处理在 2000 年出现最低含量,这可能是由土壤养分不均匀,自然条件和人为采样等过程中出现的系统误差引起,但同一年的数据之间具有很好的可比性。NPK+300 kg 秸秆处理的碱解氮含量高于其他各处理,CK 处理含量最低,其他各处理碱解氮含量均处于二者之间。PK 肥处理由于长期耕作得不到及时的 N 素供应,尤其是速效 N 含量很低。总体来看,NPK+300 kg 秸秆的 N 素含量高于其他各处理,这与其他长期实验结果是一致的^[17,18]。

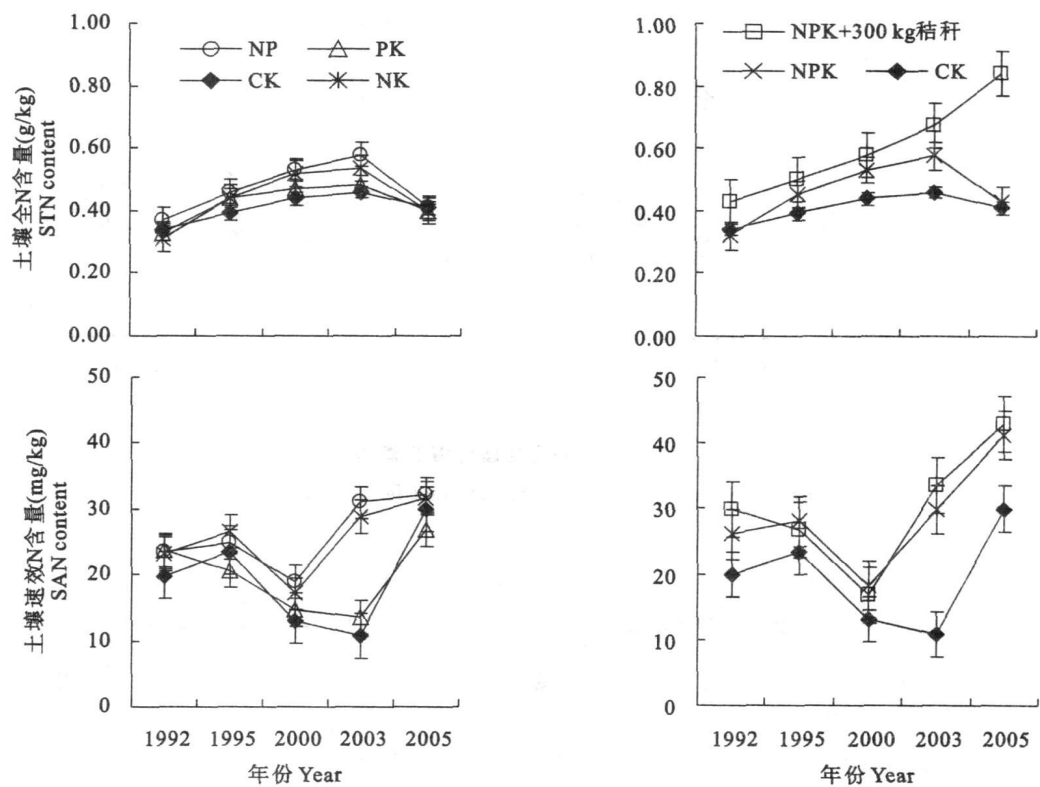


图 2 不同施肥处理土壤 N 的变化
Fig.2 Changes in soil N under different fertilization treatments

2.1.3 不同施肥处理对土壤 P 素的影响 由图 3 可以看出,不同施肥处理土壤全 P 的含量在逐年下降,但下降的幅度不大,且变化趋势基本一致。全 P 含量 2002 年后出现下降趋势的原因可能是受采样和分析条件的影响及荒漠区高 pH 值石灰性土壤对 P 素的固定^[16]。而各个施肥处理的土壤速效 P 含量变化不同,除了 NK 肥处理的速效 P 含量是先增加后减小再增加以外,其他各处理都是先增加后减小,尤其是施 P 肥处理的土壤速效 P 含量的最大值都是出现在 2000 年,且 PK 肥处理的含量均高于同期其他各处理的含量,甚至高于 NPK+300 kg 秸秆处理速效 P 的含量。NK 处理的土壤速效 P 的变化

与土壤碱解 N 的变化趋势非常相似,都是呈先增加后减小再增加的变化趋势。

2.1.4 不同施肥处理对土壤 K 素的影响 由图 4 可以看出,不同施肥处理经过连续十几年耕种后,土壤全 K 和速效 K 含量均呈逐渐下降的趋势,全 K 含量下降的比较缓慢,而速效 K 含量下降显著,说明灰漠土耕灌后钾库损失很严重。这种现象产生的原因可能是干旱区土壤经连年耕灌后,除存在淋失外,还有可能部分被吸附的钾被闭蓄,转为固定钾^[16]。NP 处理速效 K 含量比 CK 处理下降的幅度大,而且快。说明在有 N、P 养分供应的情况下,作

物对土壤速效 K 的消耗更大,这与张奇春等^[14]研究结果一致。NPK+300 kg 秸秆处理的速效 K 含量高于其他各处理,这是因为秸秆还田主要是增加土壤的 K 素^[19]。但是由于成土母质的影响,新疆

耕地土壤钾素含量普遍较高,各处理并未显示明显缺 K 症状。全 K 平均含量变化在 23.7 g/kg 左右,而速效 K 含量在 380 mg/kg 左右变化,这也可以由 NPK 和 NP 处理的产量差别不大来证明。

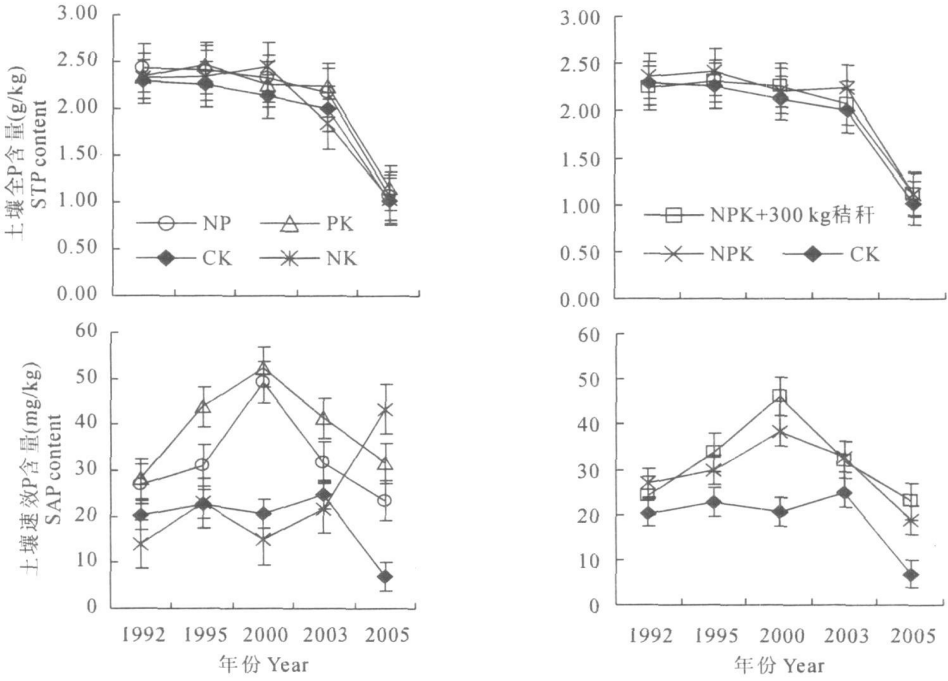


图 3 不同施肥处理土壤 P 素的变化

Fig.3 Changes in soil P under different fertilization treatments

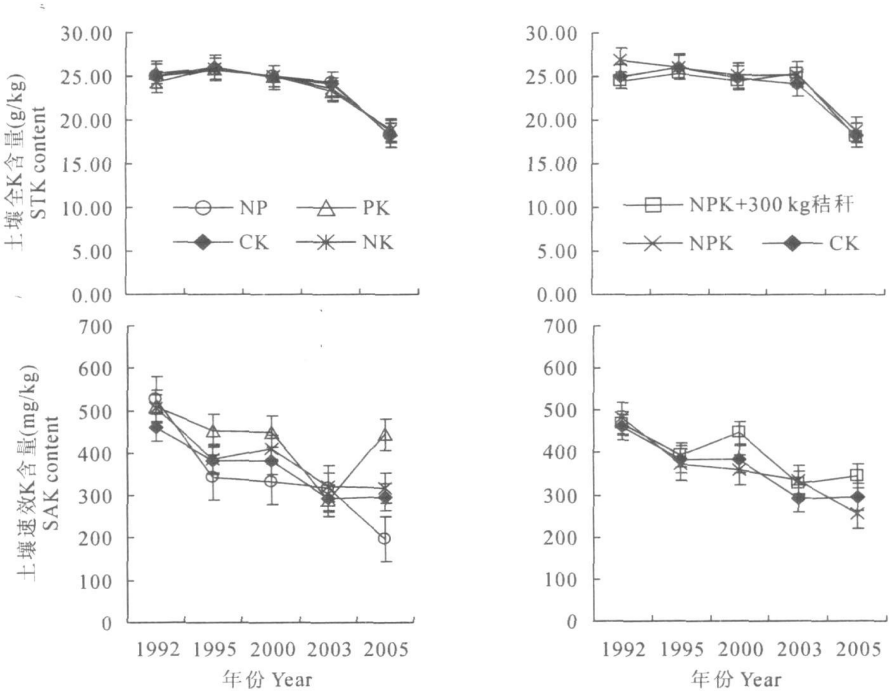


图 4 不同施肥处理 K 素的变化

Fig.4 Changes in soil K under different fertilization treatments

2.2 不同施肥处理与作物产量的关系

由图 5 可以看出,第一年的产量最高,而后产量逐渐减少,NPK+300 kg 秸秆处理的产量有回升趋势。这主要是由于实验初期各处理代表的是撂荒地养分状况,土壤撂荒多年积累了一定的养分,再加上施入的养分,所以总养分含量高,作物产量也高。但是随着耕种年限的增加,土壤本身养分的损耗增大且不易积累、荒漠碱化土壤、高温、高 pH 值、有机质矿化强烈、作物每年携出养分等因素造成产量的逐年下降^[16]。除 PK 处理外,其他各处理产量均高于 CK 处理。NPK+300 kg 秸秆处理的平均产量最高,而且有持续增加的趋势,这种变化趋势与相应处理的土壤有机质、全 N 和碱解 N 的变化趋势基本一致,不同处理的产量差异表现为 NPK+300 kg 秸秆>NPK>NP>NK>PK>CK。

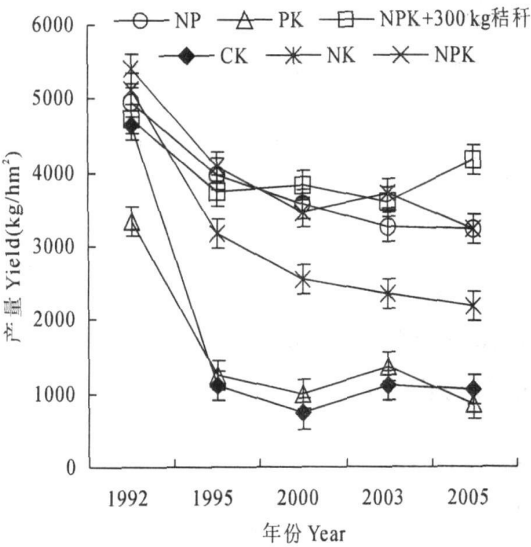


图 5 不同施肥处理作物产量的变化

Fig.5 Changes in crop yield under different fertilization treatments

可见,NPK+300 kg 秸秆处理的产量最高,CK 无肥处理的产量最低,这是跟二者的土壤养分含量密切相关的。施用化肥能在短期内迅速提高土壤的生产力,即作物的产量,但是长期增产效果不如化肥与有机肥配合施用。PK 处理与无肥 CK 处理的产量的变化趋势基本一致,仅稍高于无肥 CK 处理,与其他处理相比产量最低且随着耕种年限的增加而降低,明显低于 NPK 处理和 NPK+300 kg 秸秆处理的产量,这表明制约灰漠土作物产量的关键因素是 N 素,其次是 P 素,二者都是提高作物产量和品质的重要潜在因素^[20,21]。对于 NP 处理,由各图可以看出,不论是养分还是产量都与 NPK 处理的基本一致,也验证了新疆灰漠土 K 含量高,不施 K 肥对

产量影响并不大。CK 处理由于养分得不到及时供应,养分库迅速消耗,使土壤养分供应能力明显下降,并对作物产量造成严重影响。

NPK 处理由于肥效快,作物生长良好,作物产量也相对较高。但是长期施用化肥会使土壤板结,土壤肥力下降,致使作物产量无法持续增加,这也是化肥处理不能持续增产的原因。而对于 NPK+300 kg 秸秆处理,持续高产的原因可能是有机无机配施促进了土壤有机无机复合体和微团聚体的形成,既提高土壤有机质含量,更新和活化老的有机质,改善腐殖质品质^[21~24],又带入大量的 N、P、K 养分及微量元素,提高土壤酶活性^[25,26],从而全面提高土壤肥力,使作物增产。因此,NPK+300 kg 秸秆处理是这几种处理中的提高土壤肥力、增加作物产量的最有效的施肥措施。

3 结 论

土壤养分长期定位施肥实验研究表明:

1) NPK+300 kg 秸秆处理不仅能显著提高作物产量,而且能显著增加土壤有机质、全 N 及速效 N 的含量,从而提高土壤的肥力。因此,化肥与有机肥配合施用,是灰漠土农田施肥管理的最佳措施。而 PK 处理对于土壤养分含量以及作物产量的效果基本和 CK 处理一致,也是最不合理的施肥处理方式。

2) 化肥可以为作物生长提供快速有效的养分,因此可以维持相当多的作物产量。但单施化肥对土壤肥力的提高没有作用,从长期效果来看,不利于维持作物产量的稳定。另外,从本文分析还可以看出,除 NPK+300 kg 秸秆处理外,其他施肥处理并不能使绿洲农田持续增产。

3) 对灰漠土而言,制约产量的首要因素是 N 素,其次是 P 素。由于土壤 K 含量较高,尽管作物生长与收获使土壤 K 库有所损失,但作物产量并未受到明显影响。

参 考 文 献:

[1] FAO. Prevention of water pollution by agriculture and related activities[R]. water ReP. 1, 1993. 223—245.
[2] 高拯民. 土壤—植物系统中氮的损失和环境保护[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 82—91.
[3] 王少彬. 中国大气中氧化亚氮浓度及土壤排放通量的测定[J]. 中国农业科学, 1994, 27(2): 13—23.
[4] 马立珊. 农田中氮肥管理与环境质量和作物品质[A]. 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[C]. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 267—287.

- [5] Jenkinson D S, Hart P BS, Rayner J H. Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted[J]. *Inter col. Bull.*, 1987, 15, 1—8.
- [6] 林 葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J]. *植物营养与肥料学报*, 1994, (1), 1—18.
- [7] 吴益伟, 傅庆林, 孟赐福, 等. 低丘红壤四种方式土壤养分平衡和消长研究[J]. *土壤通报*, 1995, 26(4), 65—167.
- [8] 徐阳春, 沈其荣. 有机肥和化肥长期配合施用对土壤及不同粒级供氮特性的影响[J]. *土壤学报*, 2004, 41(1), 88—91.
- [9] 王经权, 周建民, 钦绳武, 等. 三种施肥模式对石灰性土壤培肥的影响[J]. *土壤学报*, 2002, 39(6), 844—852.
- [10] 丁宁平, 周广业. 旱地土壤定位有机培肥研究[J]. *土壤通报*, 1990, 21(5), 201—204.
- [11] 党廷辉, 彭 琳, 戴鸣均. 旱地长期施肥对冬小麦产量及土壤养分的影响[J]. *水土保持通报*, 1993, 13(5), 78—82.
- [12] 樊 军, 赫明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究. I. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1), 9—13.
- [13] 孟 磊, 蔡祖聪, 丁维新. 长期施肥对土壤碳储量和作物固定碳的影响[J]. *土壤学报*, 2005, 42(5), 769—776.
- [14] 张奇春, 王光火, 方 斌. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响[J]. *土壤学报*, 2005, 42(1), 116—121.
- [15] 范钦桢, 谢建昌. 长期肥料定位试验中土壤钾素肥力的演变[J]. *土壤学报*, 2005, 42(4), 591—599.
- [16] 王周琼, 李述刚, 程心俊. 荒漠绿洲农田生态系统中养分循环[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [17] 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, 3(1), 7—10.
- [18] 沈善敏. 国内外长期肥料实验(二)[J]. *土壤通报*, 1984, 15(3), 134—138.
- [19] 周 斌, 王周琼. 长期定位施肥对土壤质量影响的因子分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(5), 56—61.
- [20] 王周琼, 王宝军, 赵 岩, 等. 培肥地力促进绿洲农业营养元素良性循环[J]. *干旱区研究*, 1999, 16(1), 1—7.
- [21] 汪寅虎. 长期定位条件下秸秆还田的综合适应研究[J]. *土壤通报*, 1994, 25(7), 53—56.
- [22] 魏朝富, 陈世正, 谢德体. 长期施用有机肥对紫色土水稻土有机无机复合性状的影响[J]. *土壤学报*, 1995, 32(2), 159—166.
- [23] 窦 森, 陈恩凤, 须湘成, 等. 施用有机肥料对土壤胡敏酸结构特征的影响—胡敏酸的光学性质[J]. *土壤学报*, 1995, 32(1), 41—49.
- [24] 黄不凡. 绿肥、麦秸还田培养地力的研究[J]. *土壤学报*, 1984, 21(2), 113—122.
- [25] 赵哲权, 王明九, 邢建民. 施用作物秸秆对土壤酶活性的影响[J]. *土壤肥料*, 1990, (3), 28—29.
- [26] Edmeades D C. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: A review [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 66(2), 165—180.

The Effect of different fertilization treatments on soil nutrient and crop yield in oasis farmland

LIU Yan, TANG Li-song, LI Yan

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: For studying the nutriment circular regulation of agro-ecosystem, investigation was made on the changes of soil nutrient and crop yield in oasis farmland under different fertilization treatments by the long-term experiment. The results showed that the contents of soil nutrient were affected significantly by different fertilization treatments. The content of soil nutrient in treatment of inorganic-organic compound was higher than that of other treatments, especially the average of soil total organic matter, total nitrogen and available nitrogen, are 1.5 g/kg, 0.19 g/kg and 10.5 mg/kg higher than that of CK treatment. The results also showed that the crop yields were related with the contents of soil nutrient, especially the soil total organic matter, total nitrogen and available nitrogen. N is the most important nutrient factor to restrict crop yield and the second is P. The change of soil nutrient and crop yields showed that the inorganic-organic compound fertilizer has the highest yield, and it is 4010.8 kg/hm². The inorganic-organic compound fertilizer may be the best fertilization way to improve the soil productivity and crop yield.

Keywords: long-term experiment; fertilization treatment; soil nutrient; crop yield