

# 有机肥与化肥长期配施对作物产量和灌漠土养分库的影响

孙宁科, 索东让

(甘肃省张掖市农业科学研究院, 甘肃 张掖 734000)

**摘要:** 根据河西走廊灌漠土上连续 27 a 的长期定位试验数据, 研究了河西绿洲区灌漠土有机肥和化肥长期配施对作物产量和土壤养分库的影响。结果表明, 有机肥与化肥长期配施增加了作物产量和产量的稳定性; 7 种施肥方式(单施氮、NP 配施、NPK 配施、单施有机肥、有机肥+ N、有机肥+ NP、有机肥+ NPK) 中, 以有机肥与 NP 或 NPK 肥配施效果为最佳。长期有机肥和化肥配施增加了 N、P、K 养分投入量、养分携出量和盈余量; 有机肥与化肥配施 21~25 a 后, 土壤有机质、全氮和全磷含量分别提高了 10.0%~16.0%, 58.1%~69.0% 和 13.4%~31.1%, 速效氮、速效磷和速效钾含量分别提高了 45.7%~79.0%, 172.2%~287.8% 和 21.4%~38.8%, 均显著高于对照和单施化肥处理; 有机肥与化肥配施处理中, 以有机肥与 NPK 肥配施改善土壤肥力的效果最理想。

**关键词:** 有机肥; 化肥; 产量; 土壤养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0042-05

中图分类号: S158.3

## Effects of Long-term Mixed Use of Organic Manure and Chemical Fertilizers on Crop Yield and Indigenous Soil Nutrients

SUN Ning-ke, SUO Dong-rang

(Zhangye Institute of Agricultural Sciences, Zhangye, Gansu 734000, China)

**Abstract:** Long-term fertilization experiment on indigenous soil of Hexi Oasis, Gansu Province indicated that 27 years' mixed use of organic manure and chemical fertilizers increased crop yield and its stability, especially for organic manure and NP or NPK fertilizers. Long-term use of organic manure and chemical fertilizers increased N, P and K investment to soil and nutrient output from soil as well as nutrient surplus. Soil organic matter, total N, total P, available N, available P and available K content increased by 10.0%~16.0%, 58.1%~69.0%, 13.4%~31.1%, 45.7%~79.0%, 172.2%~287.8%, 21.4%~38.8%, respectively after 21~25 years' use of organic manure and chemical fertilizers, and were significantly higher than those of single use of chemical fertilizers and the contrast. The treatment of organic manure and NPK fertilizers was the best one in improving soil fertility.

**Keywords:** organic manure; chemical fertilizer; yield; soil nutrients

有机肥具有完全肥料之称, 能全面供给作物所需的各种养分, 其所含的有机质和矿质营养可改善土壤理化、生物性状, 为作物高产奠定了基础。在传统农业系统中有机肥是作物增产和维持土壤质量的主要物质保证<sup>[1-4]</sup>。甘肃河西绿洲区是甘肃省重要的农产品基地。20 世纪 80 年代以来化肥投入量逐渐增多, 有机肥投入量连年减少, 这种施肥方式不仅造成养分资源的浪费和化肥利用率降低, 还会导致产量下降,

甚至对生态环境带来潜在的危害<sup>[5-6]</sup>。化肥与有机肥配施是解决这一问题的重要途径。土壤养分库是评价土壤肥力的重要指标, 亦是配方施肥技术的基础。关于长期施用有机肥和化肥后作物产量和土壤养分库的演变可能与各地气候条件、种植制度、施肥水平、耕作措施等有关。

为此, 本研究分析了河西绿洲区灌漠土有机肥和化肥长期配施对作物产量和土壤养分库的影响, 以期

为该地区土壤养分管理和培育及农业生产可持续发展提供参考。

## 1 材料及方法

### 1.1 试验地点与设计

试验设置在河西走廊中部的甘肃省张掖市农科所试验农场, 该地海拔 1 560 m, 年均气温约 7 °C,  $\geq 10$  °C 活动积温 1 837~ 2 870 °C, 无霜期 165 d, 年均降水量 127 mm, 主要集中在 7—10 月, 年均蒸发量为 2 345 mm。土壤为灌漠土, 质地中壤, 肥力为中上水平。

试验从 1982 年开始, 裂区设计, 共设 8 个处理, 包括无肥(CK), 只施氮肥(N), 氮磷肥配施(NP), 氮磷钾化肥配施(NPK), 只施有机肥(M), 有机肥+ 氮肥配施(MN), 有机肥+ 氮磷肥配施(MNP), 有机肥+ 氮磷钾化肥配施(MNPK)。小区面积 33.3 m<sup>2</sup>, 3 次重复。区间均筑永久性地埂。

1982—2006 年以指示作物: 春小麦—春小麦—玉米的轮作制循环种植, 但 1994—1996 年轮作周期内均种植小麦。小麦施氮素(N) 120~ 180 kg/hm<sup>2</sup>, 施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 均为 60~ 90 kg/hm<sup>2</sup>, 全部做为基肥。玉米施氮素(N)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 用量是小麦的 2 倍, 氮、钾肥基施和深追施各 1/2, 磷肥全部做为基肥。2006—2008 年为小麦/玉米带状间作, 化肥用量是单作玉米 2 倍, 养分比例相同。有机肥为农家肥, 1982—1990 年每年投入量为 60 t/hm<sup>2</sup>, 1991—1999 年每年施 75 t/hm<sup>2</sup>; 有机肥平均含有机质 32.3 g/kg, 全氮 2.07 g/kg, 全磷 1.17 g/kg, 速效氮 220.5 mg/kg, 速效磷 105.7 mg/kg, 速效钾 1 797.4 mg/kg; 2000—2008 年为猪粪、羊粪, 施用量为 7.5 t/hm<sup>2</sup>, 平均含有机质 332.1~ 365.0 g/kg, 全氮 16.82~ 28.2 g/kg, 全磷 4.8~ 9.77 g/kg, 速效氮 3 919 mg/kg, 速效磷 4 340 mg/kg, 速效钾 8 400 mg/kg, 均作基肥。

### 1.2 测定项目与方法

每年按小区分别收获计产, 计产时小区周围剔除 1 m 保护带, 样品也取中间部分。植物样品用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮后, 采用开氏蒸馏法测定氮, 钼钼黄比色法测定磷, 火焰光度计法测定钾。土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定, 土壤全氮用半微量开氏法测定, 土壤全磷采用 HClO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮—钼锑抗比色法测定, 土壤速效氮采用碱解扩散法测定, 土壤速效磷采用 Olsen 法测定, 土壤速效钾采用乙酸铵提取法—火焰光度计测定。

### 1.3 统计分析

化肥、有机肥的效应及其交互作用采用二因素方差分析进行, Turkey 法进行多重比较。各处理产量的演变过程采用单因素方差分析, Turkey 法进行多重比较。土壤养分的演变采用独立样品的 t 检验进行。所有统计分析均在 SPSS 11.5 软件环境下进行。

## 2 结果分析

### 2.1 有机肥与化肥长期配施对作物产量及其稳定性的影响

方差分析表明, 有机肥增产效应在 1982—2008 年的 9 个轮作期中的 8 个达到极显著, 仅在第 1 个轮作期为显著, 有机肥在 9 个轮作周期的增产幅度范围为 5.0~ 53.0%。在 9 个轮作期, 化肥增加产量的效应均达到极显著(表 1)。多重比较表明, 在所有的 9 个轮作周期, NPK 和 NP 处理的产量均高于单施 N 处理和对照; 在 7 个轮作周期, NPK 与 NP 处理的产量无显著差异, 仅在 1994—1996 和 1997—1999 的 2 个轮作期, NPK 处理的产量高于 NP 处理, 表明大多数年份, K 并不是灌漠土上春小麦和玉米产量的限制因子。有机肥和化肥有显著的交互作用, 在 9 个轮作期的 8 个交互作用达到极显著, 表明有机肥与化肥配施具有显著的耦合效应。

由于 1994—1996 年轮作周期内均种植小麦, 2006—2008 年为小麦、玉米间作, 为此去掉这两个轮作周期来分析不同处理在同样种植制度下产量的演变过程(图 1)。在剩余的 7 个轮作周期内, 对照和单施 N 处理产量呈现明显的下降趋势, 而 NP, NPK 和 M 处理产量呈现一定的波动性, 但 MN, MNP 和 MNPK 处理产量则呈现明显的增加, 表明有机肥, 增强了产量的稳定性, 和氮、磷肥配施后, 使产量呈现明显的增加态势, 这种增加态势在后 4 个轮作周期表现得尤为明显。

### 2.2 有机肥与化肥长期配施对养分投入产出特征的影响

表 2 为 1982—2006 年各处理的累积养分投入和地上部养分携出量。对照与单施化肥的 4 个处理, N, P 和 K 养分的携出量均以 NPK 处理最高, 其次为 NP 处理、N 处理, 而对照的养分携出量最小。有机肥和化肥配施处理的养分携出量也表现出同样的趋势; 施入有机肥后, 明显增加了相应处理的养分携出量。养分携出量与累积产量呈显著正相关(图 2), 表明产量的差异是造成养分携出量差异的重要原因。单位产量所携出的 K 和 N 养分量远高于 P。

无论单施化肥还是有机肥与化肥配施, 单独施氮

处理的 N 盈余量最高, NP 配施的 P 盈余量最高; NPK 配施处理的养分盈余均小于 NP, 可能与其高的产量水平有关。有机肥与化肥配施显著增加了 N, P

和 K 素的盈余量, 从而在一定程度上提升了土壤肥力。所有处理的 K 盈余量均为负值, 表明 K 素携出量大于投入量。

表 1 有机肥与化肥长期配施对作物产量的影响

t/hm<sup>2</sup>

| 轮作周期        | 处理    |       |       |       |       |       |       |       | 方差分析 |     |      |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|
|             | CK    | N     | NP    | NPK   | M     | MN    | MNP   | MNPK  | 肥料   | 有机肥 | 交互作用 |
| 1982—1984 年 | 16.28 | 17.78 | 20.21 | 19.27 | 16.80 | 19.49 | 21.14 | 19.82 | **   | *   | NS   |
| 1985—1987 年 | 16.42 | 18.55 | 21.19 | 21.20 | 17.54 | 20.47 | 21.92 | 21.52 | **   | **  | **   |
| 1988—1990 年 | 10.66 | 14.26 | 18.59 | 19.87 | 16.28 | 18.68 | 20.51 | 20.21 | **   | **  | **   |
| 1991—1993 年 | 8.68  | 13.57 | 21.94 | 23.37 | 14.16 | 23.82 | 25.33 | 25.50 | **   | **  | **   |
| 1994—1996 年 | 3.86  | 6.53  | 14.50 | 16.62 | 8.11  | 15.17 | 17.45 | 18.20 | **   | **  | **   |
| 1997—1999 年 | 4.65  | 11.47 | 19.14 | 23.35 | 13.46 | 21.69 | 25.08 | 26.62 | **   | **  | **   |
| 2000—2002 年 | 5.72  | 7.20  | 21.39 | 22.95 | 19.49 | 23.17 | 24.52 | 25.37 | **   | **  | **   |
| 2003—2005 年 | 6.49  | 6.96  | 20.09 | 21.59 | 15.92 | 23.22 | 26.07 | 27.49 | **   | **  | **   |
| 2006—2008 年 | 11.31 | 10.80 | 42.49 | 43.67 | 25.17 | 44.27 | 47.28 | 48.91 | **   | **  | **   |

注: 1994—1996 年均种植小麦; 2006—2008 为小麦、玉米间作; 其它为小麦—小麦—玉米轮作。方差分析中, 肥料、有机肥栏中的\*, \*\* 分别表示显著和极显著; 交互作用栏中, \*\* 表示交互作用极显著, NS 表示交互作用不显著。下同。

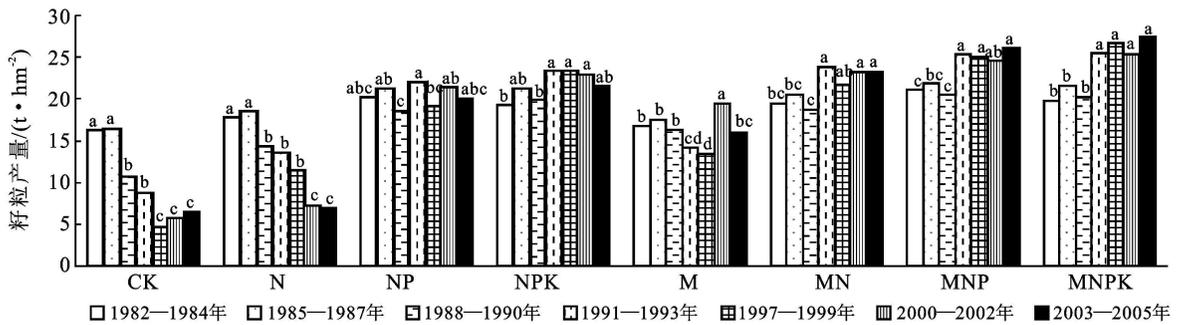


图 1 有机肥和化肥长期配施对作物产量演变过程的影响

注: 图中字母为单因素方差分析后, 采用 Turkey 法进行多重比较的结果。

表 2 有机肥与化肥长期配施对养分平衡的影响

kg/hm<sup>2</sup>

| 处理   | 养分投入量 |       |       | 养分携出量   |       |         | 养分盈余量     |         |           |
|------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-----------|---------|-----------|
|      | N     | P     | K     | N       | P     | K       | N         | P       | K         |
| CK   | 0     | 0     | 0     | 1 500.2 | 250.0 | 1 671.5 | - 1 500.2 | - 250.0 | - 1 671.5 |
| N    | 6 450 | 0     | 0     | 2 498.4 | 304.9 | 2 081.7 | 3 951.6   | - 304.9 | - 2 081.7 |
| NP   | 6 450 | 1 192 | 0     | 4 189.0 | 648.4 | 4 039.7 | 2 261.0   | 543.6   | - 4 039.7 |
| NPK  | 6 450 | 1 192 | 2 265 | 4 595.6 | 690.2 | 4 901.2 | 1 854.4   | 501.8   | - 2 636.2 |
| M    | 3 392 | 1 710 | 2 959 | 2 861.3 | 535.3 | 3 876.9 | 530.7     | 1 174.7 | - 917.9   |
| MN   | 9 842 | 1 710 | 2 959 | 5 016.6 | 696.2 | 5 664.1 | 4 825.4   | 1 013.8 | - 2 705.1 |
| MNP  | 9 842 | 2 902 | 2 959 | 5 344.7 | 860.8 | 5 727.8 | 4 497.3   | 2 041.2 | - 2 768.8 |
| MNPK | 9 842 | 2 902 | 5 224 | 5 559.3 | 903.0 | 6 440.7 | 4 282.7   | 1 999.0 | - 1 216.7 |

注: 养分盈余量= 养分投入量- 养分携出量。

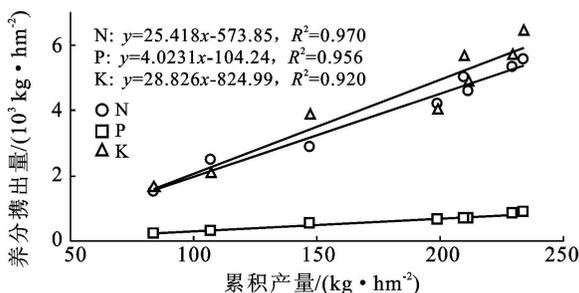


图 2 各处理养分携出量与产量的关系

### 2.3 有机肥与化肥长期配施对土壤养分的影响

1982—2006 年连续 25 a 的长期施肥处理对土壤有机质有明显的影 响。对照及单纯施用化肥处理的土壤有机质均显著下降, 下降幅度为 12.6%~21.7%, 年均递减 0.50~0.87%。施用有机肥是补充土壤有机质的主要途径, 长期连施有机肥的 4 个处理 (M, MN, MNP, MNPK) 土壤有机质稳定提高, 土壤有机质的增加幅度分别为 6.3%~16.0%, 年均递增

0.25% ~ 0.64% (表 3), 但单纯施有机肥的土壤有机质增加幅度并不达到显著, 有机肥与化肥配施的处理有机质增加幅度均达到显著, 表明有机肥和化肥配施具有培肥土壤和增加土壤碳汇的效果。

有机肥与化肥配施对土壤全氮和速效 N 亦有较大的影响。除对照外, 所有处理的土壤全 N 均显著增加, 化肥处理的增加幅度为 12.9% ~ 26.6%, 有机肥与化肥配施处理全氮的增加幅度为 58.1% ~ 69%, 且均达到极显著。8 个处理的速效 N 均呈极显著的增加趋势, 增加幅度为 41.3% ~ 79.0%, 平均年递增 2.1% ~ 4.0%; 对照及化肥单施增加速效 N 的幅度为 41.3% ~ 54.8%, 但有机肥与化肥配施处理的土壤速效 N 增加幅度为 45.7% ~ 79%, 明显高于化肥处理。

8 个处理中除对照与单施氮肥处理的土壤全磷出现下降趋势外, 所有其它 6 个处理的土壤全磷均明显增加, 增加幅度为 13.4% ~ 31.1%, 有机肥与化肥配施处理土壤全磷的增加幅度均明显高于相应的化肥处理。8 个处理中, 有机肥与 NP 肥配施的 2 个处理 (MNP 和 MNPK) 提高土壤全磷的效果最为显著。对照和单施氮磷肥导致土壤速效磷和速效钾显著下降, 速效磷下降幅度为 11.6% ~ 76.8%, 速效钾下降幅度为 17.2% ~ 21.4%, 有机肥与化肥配施处理的土壤速效磷和速效钾显著增加, 增加幅度分别为 172.2% ~ 287.8% 和 21.4% ~ 38.8%, 其中以有机肥与 NP 肥或 NPK 肥配施的提高土壤速效磷和速效钾的效果最为显著。

表 3 有机肥与化肥长期配施对土壤养分的影响

| 项目                               | 测定年份   | CK                 | N                  | NP     | NPK    | M                 | MN      | MNP     | MNPK    |
|----------------------------------|--------|--------------------|--------------------|--------|--------|-------------------|---------|---------|---------|
| 有机质/<br>(g · kg <sup>-1</sup> )  | 1982 年 | 19.44              | 19.88              | 19.30  | 19.80  | 20.20             | 19.43   | 20.63   | 19.53   |
|                                  | 2006 年 | 17.00              | 16.30              | 16.20  | 15.50  | 21.47             | 22.53   | 22.70   | 22.10   |
|                                  | 变化率/%  | -12.6*             | -18.0*             | -16.1* | -21.7* | 6.3 <sup>ns</sup> | 16.0*   | 10.0*   | 13.2*   |
| 全氮/<br>(g · kg <sup>-1</sup> )   | 1982 年 | 0.867              | 0.843              | 0.843  | 0.857  | 0.843             | 0.883   | 0.840   | 0.890   |
|                                  | 2006 年 | 0.947              | 1.067              | 1.013  | 0.968  | 1.353             | 1.427   | 1.420   | 1.407   |
|                                  | 变化率/%  | 9.2 <sup>ns</sup>  | 26.6*              | 20.2*  | 12.9*  | 60.5**            | 61.6**  | 69.0**  | 58.1**  |
| 全磷/<br>(g · kg <sup>-1</sup> )   | 1983 年 | 0.825              | 0.780              | 0.799  | 0.792  | 0.802             | 0.784   | 0.866   | 0.816   |
|                                  | 2006 年 | 0.745              | 0.728              | 0.914  | 0.924  | 0.897             | 0.889   | 1.110   | 1.070   |
|                                  | 变化率/%  | -9.7 <sup>ns</sup> | -6.7 <sup>ns</sup> | 14.4*  | 16.7*  | 11.9*             | 13.4*   | 28.2**  | 31.1**  |
| 速效氮/<br>(mg · kg <sup>-1</sup> ) | 1986 年 | 61.7               | 63.3               | 70.0   | 74.3   | 77.0              | 81.0    | 90.6    | 82.0    |
|                                  | 2006 年 | 88.0               | 98.0               | 99.0   | 105.0  | 128.0             | 145.0   | 132.0   | 141.0   |
|                                  | 变化率/%  | 42.6**             | 54.8**             | 41.4** | 41.3** | 66.2**            | 79.0**  | 45.7**  | 72.0**  |
| 速效磷/<br>(mg · kg <sup>-1</sup> ) | 1983 年 | 12.5               | 11.0               | 15.1   | 17.2   | 16.5              | 14.4    | 18.0    | 21.6    |
|                                  | 2006 年 | 2.9                | 2.2                | 13.1   | 15.2   | 49.9              | 39.2    | 69.8    | 71.3    |
|                                  | 变化率/%  | -76.8**            | -80.0**            | -13.2* | -11.6* | 202.4**           | 172.2** | 287.8** | 230.1** |
| 速效钾/<br>(mg · kg <sup>-1</sup> ) | 1983 年 | 103                | 96                 | 87     | 107    | 120               | 112     | 110     | 129     |
|                                  | 2006 年 | 81                 | 77                 | 72     | 116    | 145               | 136     | 140     | 179     |
|                                  | 变化率/%  | -21.4*             | -19.8*             | -17.2* | 8.4*   | 20.8*             | 21.4*   | 27.3*   | 38.8**  |

### 3 结果讨论

长期施肥的增产效果受作物、气候、土壤条件、耕作及施肥方式等的影响。在本研究条件下, 有机肥在所有供试年份均具有显著的增产作用, 化肥中 NP 和 NPK 配施的增产效果优于只施氮肥和对照处理, 有机肥与化肥配施后增产效果明显优于只施化肥处理, 这在很多长期定位试验研究中已有报道<sup>[7-8]</sup>。本研究还发现对于干旱的河西绿洲区, 有机肥与化肥配施后作物产量呈递增的趋势, 而其它处理产量呈现下降趋

势或表现出一定的波动性, 有机肥增加了产量的稳定性。用产量可持续性指数 (SYI) 法对我国作物不同生态条件下长期施肥的可持续性研究也表明, 有机肥与 NPK 肥配施有利于作物高产稳产, 是维持系统可持续性的最优施肥模式<sup>[9]</sup>。有机肥与化肥配施增加产量稳定性的原因可能主要与有机肥养分的缓慢释放、土壤养分库的逐渐提高和植物抗干旱等逆境能力的提高有关。

有机肥与化肥长期配施后土壤有机质含量显著提高, 原因主要在于有机肥输入了一定数量的外源有

机质,此外,有机肥通过提高作物产量增加了作物根茬残留量。与化肥处理有机质下降的现象对比,有机质稳定提高的主要因素是有机肥直接输入的有机质起主导作用。在全国尺度上的研究亦表明,有机肥和化肥配施普遍较大幅度提高了土壤有机碳积累速率<sup>[10]</sup>,良好施肥的固碳效应对旱地土壤而言可持续 15 a 以上。因此合理的有机肥与化肥配施不仅可以提高土壤肥力,而且具有重要的固碳增汇作用。

有机肥与化肥配施后土壤养分皆是稳中有增的变化趋势,全 N 含量增幅大于全 P,速效 P 含量增幅远远大于速效 N、速效 K。有机肥养分除一部分被作物吸收外,残留在土壤中的有机肥养分是平衡和提高土壤养分的主要因素,此外,有机肥中腐解产生的有机酸可能增加了土壤中有机养分的矿化过程,从而促进了难溶性养分的释放,增加了土壤中速效养分的含量。有机肥与化肥配施增加速效磷的作用特别显著,原因可能与有机物质与土壤无机颗粒通过铁、铝和钙桥键复合,相应地降低了土壤中铁、铝和钙离子的浓度,减少了这些离子对磷的固定<sup>[11]</sup>。有机肥腐解产生的有机酸,可掩蔽土壤胶体或铁铝氧化物的吸附位点,从而减少土壤对磷的吸附固定<sup>[12]</sup>。至于对不同磷组分的影响还有待于进一步研究。

## 4 结论

对年降雨量小于 150 mm 的河西走廊绿洲区荒漠土而言,有机肥与化肥长期配施增加了轮作小麦和玉米的产量及产量的稳定性;7 种施肥方式中,以有机肥与 NP 或 NPK 肥配施效果为最佳。长期有机肥和化肥配施增加了 N、P、K 养分投入量、养分携出量和盈余量,养分携出量决定于产量,且 N 和 K 养分携出量远大于 P。有机肥与化肥配施 25 a 后,土壤有机质、全氮和全磷含量分别提高了 10.0%~16.0%, 58.1%~69.0% 和 13.4%~31.1%;速效氮、速效磷和速效钾分别提高了 45.7%~79.0%, 172.2~287.8%

和 21.4%~38.8%,均显著高于对照和单施化肥处理;有机肥与化肥配施处理中,以有机肥与 NPK 肥配施改善土壤肥力的效果为最好。该研究发现在干旱区有机肥与化肥长期配施可增加作物产量及其稳定性,改善土壤肥力,增加碳汇,从而有助于河西绿洲区农业的可持续发展。

### [参 考 文 献]

- [1] 彭琳,彭祥林,余存祖.黄土区有机肥与化肥配施效果[J].土壤肥料,1983(5):14-15.
- [2] 张夫道,姚源喜.有机肥与氮肥配合施用对小麦和玉米产量和品质的影响[J].土壤肥料,1984(3):11-15.
- [3] 索东让.河西走廊有机肥增产效应研究[J].土壤通报,2002(5):396-398.
- [4] 沈善敏.国外长期肥料试验⑥[J].土壤通报,1984(3):132-138.
- [5] 郭胜利,党廷辉,郝明德.施肥对半干旱地区小麦产量、NO<sub>3</sub>-N 积累和水分平衡的影响[J].中国农业科学,2005,38(4):754-760.
- [6] 袁新民,同延安,杨学云,等.施用磷肥对土壤 NO<sub>3</sub>-N 累积的影响[J].植物营养与肥料学报,2000,6(4):397-403.
- [7] 韩晓增,王凤仙,王凤菊,等.长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):66-71.
- [8] 张睿,刘党校.氮磷与有机肥配施对小麦光合作用及产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):543-547.
- [9] 李忠芳,徐明岗,张会民,等.长期施肥和不同生态条件下我国作物产量可持续性特征[J].应用生态学报,2010,21(5):1264-1269.
- [10] 王成已,潘根兴,田有国,等.不同施肥下农田表土有机碳含量变化分析:基于中国农业生态系统长期试验资料[J].中国科学:生命科学,2010,40(7):650-657.
- [11] 熊毅.土壤胶体的组成及复合[J].土壤通报,1979(5):1-8.
- [12] 赵晓弃,鲁如坤.有机肥对土壤磷素吸附的影响[J].土壤学报,1991,28(1):7-13.