

不同有机物料与部分化肥长期定位配合施用 对土壤养分的调控效应

张建军, 樊廷录, 赵 刚, 党 翼, 王 磊, 李尚中, 程万莉

(甘肃省农业科学院旱地农业研究所/甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 为了明确有机物料替代部分化肥长期定位施用对冬小麦连作农田土壤养分的调控效应。在陇东黄土旱塬进行连续 11 年的定位试验, 比较不施肥 (CK)、施用等量氮磷养分的 3 种有机物料 (生物有机肥、秸秆还田、农家肥) 与氮磷化肥配施的农田土壤养分含量变化。结果显示: 2016 年冬小麦收获后, 相比于 CK, 施用有机肥明显增加了 0~60 cm 土层硝态氮积累量, 而有机质、全量氮磷钾及其速效养分含量在 0~60 cm 土层范围内随土层深度增加逐渐降低, 且 0~20 cm 土层为硝态氮、有机质、全量氮磷钾及速效氮、磷富集区。从 0~20 cm 土层平均养分含量来看, 施用有机肥显著提高了土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾含量。其中生物有机肥处理 11 年土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别较 CK 提高了 18.39%、11.49%、15.62%、2.76%、14.94%、143.25%、36.33%, 农家肥处理分别提高了 14.42%、14.94%、14.06%、2.84%、10.87%、100.7%、41.58%, 秸秆还田分别提高了 7.20%、10.34%、9.38%、1.46%、9.24%、54.66%、8.82%。因此, 在陇东半湿润偏旱雨养农业区, 采用化肥与有机肥配施, 兼顾钾肥的施肥措施是最合理的施肥方式, 有利于保持黑垆土养分平衡, 促进农田生产力稳定可持续。

关键词: 长期定位; 冬小麦连作; 有机物料; 土壤养分

中图分类号: S147.4; S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2018) 03-0085-07

化肥在保证西北黄土高原旱区粮食稳产和高产方面发挥了巨大作用^[1], 但由于化肥过量施用引起的肥料利用率低、生态环境恶化等一系列社会问题不容忽视^[2-3]。有机物料分解是农田生态系统物质循环和能量流动的关键环节, 对土壤有机质形成和养分释放意义重大^[4-5]。合理利用有机肥资源是实现中国到 2020 年化肥施用量零增长的重要途径^[6]。大量研究证明: 有机物料在提供作物养分^[7]、更新土壤有机质^[8-9], 增强土壤保水保肥能力^[10], 特别是在改善土壤结构和保护农田生态环境等方面具有化肥不可替代的作用^[11-12]。

对于土壤瘠薄、干旱少雨的陇东黄土高原雨养农业区, 有机培肥是解决当地农业生产和生态环境问题的重大关键技术。同时, 为了减少化肥

施用量, 缓解化肥过量施用对农田生态环境的污染, 提出了以有机物料部分替代化肥的解决措施。中国的长期定位试验起步较晚, 且大多数为耕作方式、有机无机肥配施及比例等模式, 涉及有机肥的长期定位试验, 特别是有机肥与化肥在等氮条件下, 作物种植方式为同一种作物连作的长期定位试验甚少。本研究依托该区域始于 2005 年的不同有机物料替代部分化肥的长期定位试验, 通过对历年连续养分资料的系统分析, 揭示不同种类有机物料部分替代化肥后的土壤养分演变规律, 探索实现西北黄土高原雨养农业区耕地质量稳步提升的化肥减施措施的可行性, 为确保西北黄土旱塬雨养农业区粮食安全提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2005~2016 年在甘肃省庆阳市镇原县 (35°29'42"N, 107°29'36"E) 的农业部西北植物营养与施肥科学观测试验站进行, 土壤类型为发育良好的覆盖黑垆土。该区年均降水量 540 mm, 年蒸

收稿日期: 2017-07-21; 最后修订日期: 2017-08-22

基金项目: 国家科技支撑计划 (2015BAD22B02-02); 西北旱作营养与施肥科学观测实验站基金; 甘肃省农业科学院中青年基金 (2016GAAS32)。

作者简介: 张建军 (1977-), 男, 甘肃靖远人, 副研究员, 硕士, 主要从事农田土壤地力培育及栽培生理研究。E-mail: hnszhjj@163.com。

发量 1 532 mm，年均气温 8.3℃，无霜期 170 d，海拔 1 279 m，为暖温带半湿润偏旱大陆性季风气候，属典型的旱作雨养农业区。试验前（2005 年）0 ~ 20 cm 耕层土壤基本理化性状见表 1。

表 1 2005 年试验播种前 0 ~ 20 cm 土壤基本理化性状

有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
12.69	0.98	0.68	33.56	60.32	10.65	121.2

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计，为了有效控制因品种差异导致的试验结果误差，种植方式采用同一冬小麦品种连作，小区面积 24 m²（4 m × 6 m），3 次重复。连续多年设 1 个不施肥处理（CK）和 4 个等量氮、磷养分处理（表 2），试验每年均施入氮、磷化肥和有机物料。氮肥为尿素（N 46%），基肥：追肥为 7:3，追肥于返青期施入；磷肥为过磷酸钙（P₂O₅ 12%），一次性基肥施入，不施钾肥。根据

不同有机肥的施用量及其含 N、P₂O₅ 量，折算出施入有机肥料 N、P₂O₅ 量，不足部分施无机氮、磷肥补充，达到总氮、磷施用量相同。所有有机物料做基肥播前一次性施入。

供试品种为当地大面积推广的自育冬小麦新品种“陇鉴 301”，播量 187.5 kg/hm²，播期为 9 月中下旬，收获期为翌年 6 月下旬，各处理除肥料种类不同外，其它栽培管理措施相同。

表 2 肥料种类及平均年用量 (kg/hm²)

处理	总氮	总磷	无机氮肥	无机磷肥	生物有机肥		普通农家肥		小麦秸秆	
					氮	磷	氮	磷	氮	磷
生物肥料	180	105	120	75	60	30	—	—	—	—
秸秆还田	180	105	125.5	83.5	—	—	—	—	54.5	21.5
农家肥	180	105	72	5	—	—	108	100	—	—
化学肥料	180	105	180	105	—	—	—	—	—	—
不施肥（CK）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1.3 观测指标及方法

1.3.1 土样采集

2005 ~ 2016 年每年冬小麦收获后，按照“S”形多点混合法采集试验地 0 ~ 20 cm 土层土壤，风干、研磨过筛后用于土壤有机质、全量氮磷钾及碱解 N、有效 P、速效 K 含量的测定。

2016 年冬小麦收获后，按照“S”形多点混合法采集试验地 0 ~ 100 cm 土样，每 20 cm 为一个采样层，风干、研磨过 0.15 mm 筛后用于土壤铵态氮、硝态氮、有机质、全量氮磷钾及碱解 N、有效 P 含量测定。

1.3.2 测定方法

有机质含量采用重铬酸钾 - 外加热法，全氮采用半微量凯氏法，全磷采用 HClO₄ - H₂SO₄ 法，全钾采用 NaOH 熔融 - 火焰光度法，碱解氮含量采用碱解扩散法，有效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸

提 - 比色法，速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提 - 火焰光度法^[13]。铵态氮、硝态氮采用德国生产的 AA3 型流动注射分析仪测定。

1.4 统计分析

采用 Excel 2010 软件处理数据和绘图，DPS 7.05 软件进行统计分析，最小显著极差法（LSD）进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 长期不同有机物料处理对土壤剖面养分含量的影响

长期施用不同有机物料结果（图 1）表明：不同有机物料处理不同土层间 NO₃⁻ - N 含量差异明显，NO₃⁻ - N 含量较高的区域分布在表层 0 ~ 20 cm，随土层深度增加，NO₃⁻ - N 含量降低（20 ~ 80 cm），80 ~ 100 cm 的 NO₃⁻ - N 含量趋于稳定。0 ~

100 cm 对照区 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量一直处于最低, 以 0 ~ 20 cm 最高, 随土层深度增加逐渐降低, 60 ~ 100 cm 土层变化趋于平缓, 主要是无外源氮施入农田, 仅靠土壤自身有机氮矿化而来。处理间 0 ~ 60 cm 土层以农家肥最高, 其次为生物肥料, 第三是秸秆还田, 较 CK 和化肥处理依次分别提高了 121.0%、93.4%、67.6%、46.7%, 33.9%、17.2%, 60 ~ 100 cm 差异不明显。

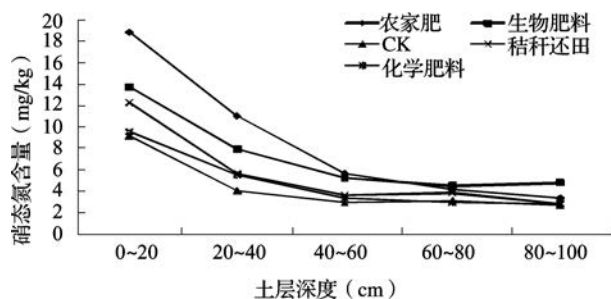


图1 不同施肥处理不同土层硝态氮含量变化

各处理 0 ~ 100 cm 土层铵态氮含量变化不尽相同 (图 2), 除秸秆还田外, 其余处理均在 0 ~ 20 cm 土层铵态氮含量最高, 且均随土层深度增加而逐渐降低, 但降低幅度不同。相同土层铵态氮含量相比, 不施肥的 CK 处理各土层铵态氮含量均最低, 施肥处理在 0 ~ 20 和 20 ~ 40 cm 土层铵态氮含量高低基本一致, 为农家肥 > 生物肥料 > 秸秆还田 > 化肥。40 ~ 100 cm 秸秆还田处理出现明显波动, 表现为 40 ~ 80 cm 缓慢增加, 80 ~ 100 cm 急剧降低, 其余施肥处理趋于稳定。

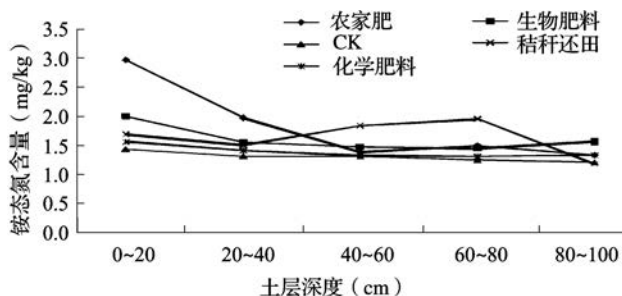


图2 不同施肥处理不同土层铵态氮含量变化

不同处理全氮含量随土层深度增加而减少, 0 ~ 60 cm 土层剧烈降低, 60 ~ 100 cm 土层趋于平缓 (图 3)。与不施肥的 CK 处理相比, 各施肥处理明显提高了 0 ~ 40 cm 土层全氮含量, 农家肥和生物肥料处理增加幅度最为明显, 0 ~ 40 cm 土层全氮平均含量较 CK 和化肥处理分别增加了 138.6%、

117.8% 和 133.9%、113.8%, 而在 100 cm 土层内, 农家肥和生物肥料较 CK 和化肥处理分别增加了 27.2%、13.6% 和 16.5%、4.0%, 即在施氮量相同的条件下, 农家肥和生物肥料提高土壤全氮的效果明显优于化学肥料。秸秆还田、化学肥料与不施肥的 CK 处理在 0 ~ 100 cm 土层全氮含量基本一致, 秸秆还田和化学肥料较 CK 处理分别增加了 4.7% 和 9.3%, 而秸秆还田较化学肥料降低了 4.1%。

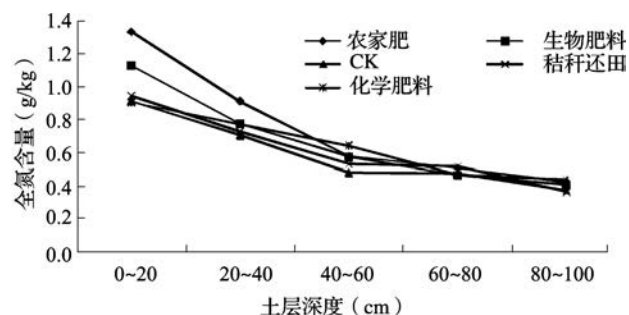


图3 不同施肥处理不同土层全氮含量变化

不同施肥处理全磷含量变化主要集中在 0 ~ 20 cm 土层 (图 4), 为农家肥 > 生物肥料 > 化学肥料 > 秸秆还田, 其含量与 CK 相比, 依次分别增加了 68.0%、55.4%、38.8%、31.0%, 40 ~ 100 cm 土层全磷含量变化基本一致。在 0 ~ 100 cm 土层不施肥的 CK 处理全磷含量一直最低, 农家肥最高, 生物肥料次之, 二者依次分别较 CK 和化肥增加 24.2%、6.8% 和 20.5%、3.7%, 秸秆还田居第三位, 其含量较 CK 增加 13.7%。

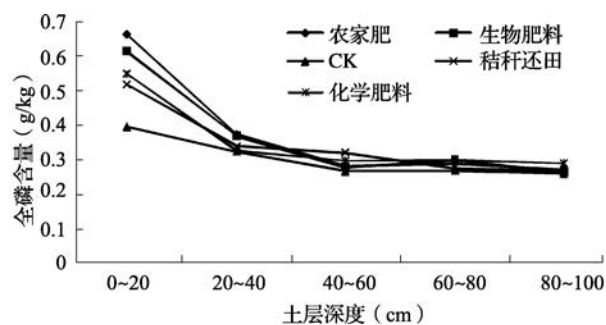


图4 不同施肥处理不同土层全磷含量变化

各施肥处理均能提高相应土层的有机质含量, 在 0 ~ 100 cm 土层土壤有机质含量均高于无肥 CK 处理 (图 5)。从有机质平均含量来看, 其变化顺序为农家肥 > 生物肥料 > 化学肥料 > 秸秆还田, 依次分别较 CK 提高了 41.5%、22.4%、17.0%、11.3%, 而秸秆还田较化肥处理有机质含量降低了 4.9%。

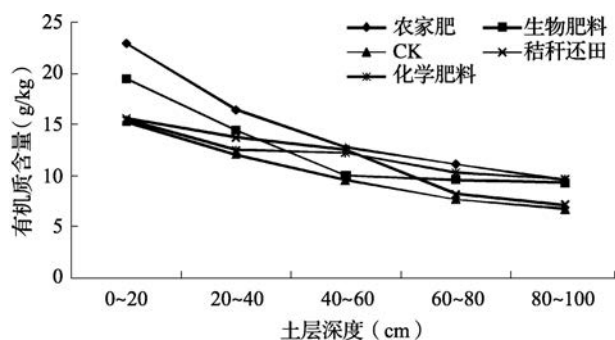


图5 不同施肥处理不同土层有机质含量变化

碱解氮含量在一定程度上可反映出土壤氮素的供应强度。在 0~100 cm 土层, 不同施肥处理随土层深度增加, 碱解氮含量逐渐降低 (图 6)。从平均含量来看, 其排序为生物肥料 > 农家肥 > 化学肥料 > 秸秆还田, 依次分别较 CK 增加了 13.4%、11.7%、4.5%、2.0%, 而秸秆还田较化学肥料降低了 2.4%。

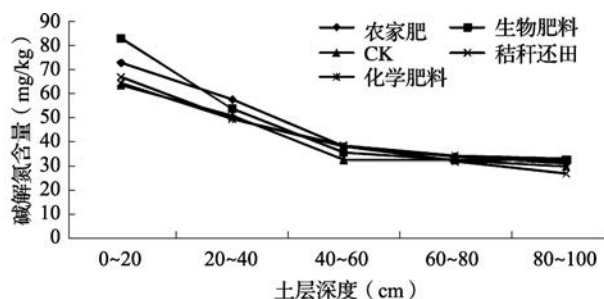


图6 不同施肥处理不同土层碱解氮含量变化

土壤中移动性较小的磷与氮变化情况不同 (图 7)。不同施肥处理对有效磷的影响主要集中在 0~40 cm 土层, 以 0~20 cm 土层变化最为剧烈, 为农家肥 > 生物肥料 > 化学肥料 > 秸秆还田, 且随土层深度的增加, 各施肥处理有效磷含量均呈明显下降趋势, 60~100 cm 变化与 CK 趋于一致。其中 0~20 cm 土层, 农家肥、生物肥料、化学肥料、秸秆还田与 CK 相比, 依次分别增加了 332.2%、

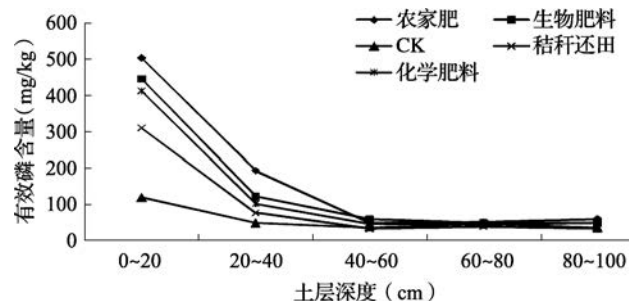


图7 不同施肥处理不同土层有效磷含量变化

281.9%、252.8%、164.6%, 秸秆还田较化学肥料降低了 25.0%; 而 0~40 cm 土层, 依次分别增加了 327.9%、248.1%、214.3%、135.2%, 秸秆还田较化学肥料降低了 25.2%。

2.2 长期不同有机物料处理对表层土壤养分含量的影响

2.2.1 有机质含量

从 11 年的土壤有机质平均含量 (表 3) 来看, 不同施肥方式有机质含量差异显著。CK 处理由于长期不施用任何肥料, 11 年间总体呈下降趋势, 低于试验前 4.9%, 这也说明长期不施肥会导致土壤有机质含量下降。相比于 CK 和播前, 各施肥处理有机质含量均有不同程度增加, 其变化顺序为生物肥料 > 农家肥 > 化学肥料 > 秸秆还田。生物肥料、秸秆还田、农家肥、化学肥料依次分别较播前年均增加 1.60、1.12、0.28、0.25 g/kg, 较 CK 年均增加 2.22、1.74、0.90、0.87 g/kg, 以生物肥料年均增量最多, 其次为农家肥, 秸秆还田与化学肥料处理接近。可见, 施用生物肥料在提高土壤有机质含量方面作用巨大。

2.2.2 全氮和碱解氮含量

各施肥处理全氮、碱解氮平均含量与 CK 差异显著, CK 由于长期未施用任何肥料, 全氮和碱解氮分别低于试验前 11.22% 和 15.53%, 说明长期不施肥会导致土壤氮素严重缺乏。经过 11 年连续施肥, 相比于 CK, 生物肥料、秸秆还田、农家肥、化学肥料全氮较 CK 分别增加了 11.49%、10.34%、14.94%、9.20%, 较播前除农家肥处理的全氮平均含量有 2.04% 的增加外, 生物肥料、秸秆还田、化学肥料分别降低了 1.02%、2.04%、3.06%。碱解氮除生物有机肥处理与 CK 差异显著外, 其余各处理与 CK 差异不显著。与 CK 相比, 施肥提高了碱解氮含量, 生物肥料、秸秆还田、农家肥、化学肥料分别较 CK 增加了 14.94%、9.24%、10.87%、6.14%, 与播前相比, 各施肥处理碱解氮含量均有不同程度降低, 依次较播前分别降低了 2.92%、7.73%、6.35%、10.34%。

2.2.3 全磷和有效磷含量

各施肥处理全磷和有效磷含量与 CK 差异显著, 且全磷和有效磷平均含量均高于播前和 CK, 说明长期施肥可逐步提高土壤磷含量。各施肥处理以生物肥料全磷和有效磷平均含量最高, 分别较播前和 CK 提高了 8.82%、15.62% 和 140.28%、

143.25%，年均增幅分别为 0.005 g/kg、1.358 mg/kg 和 0.009 g/kg、1.37 mg/kg，原因是有机肥本身含有一定数量的磷，且易于释放，可有效提高土壤磷含量。

2.2.4 全钾和速效钾含量

全钾各施肥处理间差异不显著，均低于播前，生物肥料、秸秆还田、农家肥、化学肥料分别减少

了 26.7%、27.7%、26.7%、29.4%。速效钾含量施有机肥处理与 CK 和化肥配施处理差异显著，均高于播前和 CK，其中生物肥料和农家肥较 CK 和播前分别提高了 36.33%、41.58% 和 37.92%、43.24%，年均增幅为 4.05、4.63 mg/kg 和 4.18、4.64 mg/kg。

表 3 不同肥料处理表层土壤平均养分含量变化 (2005 ~ 2016 年)

处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
生物肥料	14.29a	0.97a	0.74a	24.59a	58.56a	25.59a	167.17a
秸秆还田	12.94bc	0.96ab	0.70a	24.28a	55.66ab	16.27bc	133.43a
农家肥	13.81ab	1.00a	0.73a	24.61a	56.49ab	21.11ab	173.61a
化学肥料	12.97abc	0.95ab	0.69ab	23.71a	54.08ab	19.54b	125.89b
不施肥 (CK)	12.07c	0.87b	0.64b	23.93a	50.95b	10.52c	122.62b

注：同一列中不同小写字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平之差异显著。

3 讨论

3.1 长期施肥对土壤剖面养分含量的影响

关于长期施肥对旱地土壤硝态氮含量的影响，已有研究结论存在分歧。Stumborg C 等^[14]和 Tong Y A 等^[15]认为在旱地土壤上长期大量施用有机肥会导致硝酸盐在不同层次土壤的过量累积。刘敏超等^[16]认为，过多而不合理的氮肥投入会导致硝态氮在土壤剖面中的大量累积。而杨生茂等^[17]认为，化肥有机肥配施能显著降低土壤剖面的硝态氮含量。本研究结果显示，在等氮量条件下，施用有机肥增加了硝态氮在 0 ~ 60 cm 土层的积累量，0 ~ 20 cm 土层表现尤为突出，且在 0 ~ 60 cm 随土层深度增加，硝态氮含量呈降低趋势，60 ~ 100 cm 硝态氮含量趋于稳定。肥料类型间以农家肥最为突出，其次为生物肥料，第三是秸秆还田，三者硝态氮累积量均高于氮磷化肥配施。

本研究结果还显示：随土层深度增加，土壤有机质、氮磷全量及碱解 N、有效 P 含量呈逐渐降低趋势，0 ~ 20 cm 土层为土壤有机质、全量及碱解 N、有效 P 含量的富集区。而秸秆还田土壤有机质、氮磷全量及碱解 N、有效 P 含量接近或低于氮磷化肥配施。

3.2 长期施肥对表层土壤养分含量的影响

长期施肥对土壤养分含量的影响因作物、肥料、土壤类型的不同而存在明显差异^[18]。已有研究表明，施用有机肥能显著提高土壤养分全量及速

效养分含量^[7,19-20]。崔文华等^[21]认为应通过施用有机肥来提高土壤碱解氮含量。张夫道^[22]在一些长期试验中发现，施有机肥料区土壤含氮量均高于化肥和无肥区。本研究结果显示：经过连续 11 年施肥至 2016 年冬小麦收获，0 ~ 20 cm 土层有机质、全量氮磷钾及碱解 N、有效 P、速效 K 含量均发生显著变化。相比于播前，不施肥的 CK 除速效钾外，其余养分含量均表现为明显降低，而施肥处理有机质、全磷、有效磷、速效钾含量均表现为增加，全氮除农家肥增加外，其余处理均降低。全钾、碱解氮各施肥处理均降低，但各施肥处理间全钾含量差异不显著。不施肥的 CK 较各有机肥处理有机质、全量氮磷钾及碱解 N、有效 P、速效 K 含量显著下降。通常认为，长期单施化肥，土壤有机质基本能保持平衡^[18,23]。本研究结果显示：长期不施肥和氮磷化肥配施有机质含量出现微弱上升，没有显著变化，再次佐证了上述观点。原因是在当前化肥高投入条件下，冬小麦产量持续增加，根系凋落物等大量残留土壤所致。长期施用有机肥或化肥有机肥配施，可显著提高有机质含量^[24-25]。本研究结果显示：有机物料配施氮磷化肥有机质含量发生显著变化，生物肥料、秸秆还田、农家肥较 CK 增幅分别为 18.39%、7.20%、14.42%，较试验前增幅为 12.61%、1.97%、8.83%。秸秆还田与试验前相比，土壤有机质基本维持在同一个水平，原因是秸秆还田土壤有机质的积累与秸秆施用量、施用时间及其矿化、腐殖化过程有关，还受当地气候、土壤条件

的影响。但为了有效解决小麦秸秆焚烧引起的大气污染问题, 秸秆入土还田成为一项必不可少的手段, 至于采用何种方式还田, 还需进一步深入研究。

4 结论

4.1 在年降水量 540 mm 左右的陇东半湿润偏旱雨养农业区, 在等氮量条件下, 长期施用有机肥增加了硝态氮在 0~60 cm 土层的累积, 突出表现在 0~20 cm 土层, 且随土层深度增加而降低; 0~20 cm 土层为有机质、全量氮磷钾及碱解 N、有效 P、速效 K 养分富集区, 随土层深度增加其含量降低。肥料间硝态氮累积量排序为农家肥>生物肥料>秸秆还田>化学肥料。

4.2 经过连续 11 年施肥, 0~20 cm 土层有机质、全量氮磷钾及碱解 N、有效 P、速效 K 含量均发生显著变化。平均养分含量无肥对照较各施肥区有机质、全量氮磷钾及碱解 N、有效 P、速效 K 含量显著下降, 而施肥区较试验前有机质、全磷、有效磷、速效钾均表现为增加, 全钾、碱解氮均降低。

4.3 施用有机物料可显著增加有机质含量。生物有机肥、秸秆还田、农家肥较试验前分别增加了 12.61%、1.97%、8.83%, 显著高于氮磷化肥配施。因此, 化肥有机肥配施, 兼顾钾肥的施肥措施是陇东半湿润偏旱区冬小麦田首选施肥技术。

参考文献:

- [1] 郝明德, 王旭刚, 党廷辉, 等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析 [J]. 作物学报, 2004, 30 (11): 1108-1112.
- [2] 候云鹏, 秦裕波, 尹彩侠, 等. 生物有机肥在农业生产中的作用及发展趋势 [J]. 吉林农业科学, 2009, 34 (3): 28-29.
- [3] 沈德龙, 曹凤明, 李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望 [J]. 中国土壤与肥料, 2007, (6): 1-5.
- [4] 宋蒙亚, 李忠佩, 刘明, 等. 不同有机物料组合对土壤养分和生化性状的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (17): 3594-3603.
- [5] 温延臣, 李燕青, 袁亮, 等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法 [J]. 农业工程学报, 2015, 31 (7): 91-99.
- [6] 谢军, 赵亚南, 陈轩敬, 等. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (20): 3934-3943.
- [7] 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.
- [8] Govi M, Francioso O, Ciavatta C, et al. Influence of long-term residue and fertilizer applications on soil humic substance: A study by electro focusing [J]. Eur J Soil Sci, 1992, 154 (1): 8-13.
- [9] Bohme L, Bohme F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization [J]. Eur J Soil Sci, 2006, 42: 1-12.
- [10] 邵兴芳, 徐明岗, 张文菊, 等. 长期有机培肥模式下黑土碳与氮变化及氮素矿化特征 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (2): 326-335.
- [11] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (4): 374-378.
- [12] 王立刚, 李维炯, 邱建军, 等. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2004 (5): 12-16.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 263-268.
- [14] Stumborg C, Schoenau J J, Malhi S S. Nitrogen balance and accumulation pattern in three contrasting prairie soils receiving repeated applications of liquid swine and solid cattle manure [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2007, 78: 15-25.
- [15] Tong Y A, Emteryd O, Lu D Q, et al. Effect of organic manure and chemical fertilizer on nitrogen uptake and nitrate leaching in a Eum-orthic anthrosols profile [J]. Nutrient Cycling in Agroeco-systems, 1997, 48: 225-229.
- [16] 刘敏超, 曾长立, 王兴仁. 氮肥施用对冬小麦氮肥利用率及土壤剖面硝态氮含量动态分布的影响 [J]. 农业现代化研究, 2000, 21 (5): 309-312.
- [17] 杨生茂, 李凤鸣, 索东让, 等. 长期施肥对绿洲农田土壤生产力及土壤硝态氮积累的影响 [J]. 中国农业科学, 2005, 38 (10): 2043-2052.
- [18] Smith P. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context [J]. European Journal of Agronomy, 2004, 20 (3): 229-236.
- [19] 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): 617.
- [20] 张月鹏, 贾志宽, 路文涛, 等. 不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (5): 1122-1130.
- [21] 崔文华, 卢亚东. 化肥和有机肥对作物产量和土壤养分影响的研究 [J]. 土壤通报, 1993, 24 (6): 271-272.
- [22] 张夫道. 长期施肥条件下土壤养分的动态和平衡. II 对土壤氮的有效性和腐殖质氮组成的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2 (1): 39-48.
- [23] 林治安, 赵秉强, 袁亮, 等. 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2009, 42 (8): 2809-2819.
- [24] 王旭东, 张一平, 吕家珑, 等. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2000, 33 (2): 75-81.
- [25] 隋跃宇, 张兴义, 焦晓光, 等. 长期不同施肥制度对农田黑土有机质和氮素的影响 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (6): 190-194.

Effect of long-term fixed application of different material replacing partly chemical nitrogenous fertilizer on soil nutrition in dry land of eastern Gansu province

ZHANG Jian-jun, FAN Ting-lu, ZHAO Gang, DANG Yi, WANG Lei, LI Shang-zhong, CHENG Wan-li (Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of High Efficiency Water Utilization of Dry Land Farming, Lanzhou Gansu 730070)

Abstract: In order to clarify the effect of long-term fixed application of chemical nitrogen partly replaced by different organic nitrogen on soil nutrition in winter wheat continuous cropping, a successive 11-year field test with same winter wheat cultivar was conducted in loessial soil areas in eastern Gansu province of the Loess Plateau. The change of soil nutrient content was compared with no fertilizer (CK), applied equal amount of nitrogen and phosphorus nutrient with three kinds of organic material (biological organic fertilizer, straw returned and farmyard manure) or nitrogen and phosphorus fertilizer. The results showed that compared with CK, the organic fertilizer significantly increased the 0 ~ 60 cm soil NO_3^- -N accumulation amount after winter wheat harvest in 2016. The amount of organic matter, total and available N, P, K content within 0 ~ 60 cm soil layer decreased gradually with the increase of soil depth, and 0 ~ 20 cm soil layer had the highest contents of nitrate nitrogen, organic matter, total and available nitrogen and phosphorus. Based on the average soil nutrient content in 0 ~ 20 cm soil layer, organic fertilizer significantly increased the soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available nitrogen, available phosphorus and available potassium content. Compared with CK, the soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available nitrogen, available phosphorus and available potassium content increased by 18.39%, 11.49%, 15.62%, 2.76%, 14.94%, 143.25%, 36.33%, respectively, for manure, increased by 14.42%, 14.94%, 14.06%, 2.84%, 10.87%, 100.7%, 41.58%, respectively, for the biological organic fertilizer; and increased by 7.20%, 10.34%, 9.38%, 1.46%, 9.24%, 54.66%, 8.82%, respectively for the straw return. Therefore, in the study area, combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer, especially potash fertilizer can be the most reasonable fertilization option, which can maintain the soil nutrient balance and promote the soil productivity.

Key words: long-term fixed experiment; cropping winter wheat; organic material; soil nutriment