

有机肥等氮量替代化肥对土壤养分及酶活性的影响

徐路路¹, 王晓娟^{2, 3, 4*}

[1. 山西大学生命科学学院, 山西 太原 030031; 2. 山西农业大学山西有机旱作农业研究院, 山西 太原 030031; 3. 省部共建有机旱作农业国家重点实验室(筹), 山西 太原 030031; 4. 有机旱作农业山西省重点实验室, 山西 太原 030031]

摘 要: 通过5年定位试验, 研究有机肥等氮量替代化肥对玉米地土壤养分及酶活性的影响, 探索有机肥等氮量替代化肥, 实现化肥减量增效。田间试验设置5个不同施肥处理: (1) 100% 化肥氮(CK); (2) 25% 有机肥氮+75% 化肥氮(M25); (3) 50% 有机肥氮+50% 化肥氮(M50); (4) 75% 有机肥氮+25% 化肥氮(M75); (5) 100% 有机肥氮(M100)。研究结果表明: 与CK相比, 有机肥替代处理的土壤全氮和碱解氮含量在2019年(施肥第4年)和2020年(施肥第5年)均无显著差异, 全磷含量在2019年无显著差异, 但在2020年有机肥替代处理的土壤全磷含量均比CK少, 其中M50、M75、M100处理为0.89、0.91、0.90 g/kg, 与CK相比分别显著减少17.87%、15.24%、16.47%, M25处理与CK相比差异不显著。在2019和2020年试验中, M100处理的土壤有效磷含量为31.03 ~ 36.37 mg/kg, 与CK相比, M100处理显著提高了土壤有效磷含量; 在2020年试验中, 各有机肥替代处理的土壤有效磷含量显著大于CK。与CK相比, 有机肥替代处理的土壤脲酶活性和磷酸酶活性均无显著差异。试验中, 有机肥替代化肥处理的穗长、穗粗、穗行数、行粒数较CK均无显著差异, 但有机肥替代处理的秃尖在2020年均比CK小, 其中M25、M50、M75、M100处理比CK分别减少28.57%、26.53%、14.29%、24.49%, 并且与CK相比, M75、M100处理的百粒重分别显著增加10.14% ~ 14.17%、20.54%。与单施化肥相比, 有机肥等氮量替代化肥不会降低土壤养分含量(除全磷含量有所降低)和土壤酶活性, 还可以在一定程度上增加玉米籽粒百粒重, 减少秃尖长, 优化玉米穗部性状, 减少化肥的施用。因此, 有机肥等氮量替代化肥是一种节肥、增效、环保的施肥方式。

关键词: 有机肥; 化肥; 养分; 酶; 玉米

施用化肥已经是我国农业生产不可或缺的技术措施, 其对粮食增产贡献率达57%, 但不科学地施用化肥, 不仅污染环境, 而且降低土壤质量^[1-4]。施用有机肥可以改善土壤质量, 提高土壤养分含量, 增加土壤微生物的活性, 降低土壤容重, 固定和净化土壤重金属^[5]。全国畜禽粪肥可替代氮肥、磷肥的潜力, 分别占当年(2014年)实际化肥用量的38.3%、52.0%^[6]。有机肥替代化肥或有机肥与化肥配施等措施, 既调整了施肥结构实现化

肥减量, 又可以资源化利用畜禽粪便, 减少了环境污染。

有些学者就有机肥替代化肥对土壤养分和酶影响方面做了研究。一项为期33年的试验表明, 有机肥氮和化学氮配施, 可以增加小麦-玉米系统的土壤有机碳和全氮, 以及保持该系统的生产力^[7]。有机肥替代部分化肥显著增加了稻田土壤有机碳含量^[8]。何浩等^[9]的试验表明, 商品有机肥替代部分化肥可促进玉米生长、增产增效和培肥土壤。对果园^[10]、玉米-大豆轮作的种植系统、水稻-小麦轮作体系、小麦地等进行大田试验, 发现有机肥或有机无机肥配施均可提高土壤养分含量^[11-14]。长期(30年)化肥和有机肥处理的田间试验结果表明, 施用有机肥显著提高了玉米地土壤碱性磷酸酶和脲酶等土壤酶活性, 与不施肥和单施化肥的处理相比, 长期施用有机肥对土壤质量的影响最大^[15]。由此可见, 适宜比例的有机肥替代化肥可以提高土

收稿日期: 2021-11-27; 录用日期: 2022-10-30

基金项目: 山西省优秀青年拔尖人才项目(HNZXBJ001); 山西农业大学省部共建有机旱作农业国家重点实验室(筹)自主研发项目(202105D121008-1-7); 国家公益性行业专项(201503124)。

作者简介: 徐路路(1995-), 硕士研究生, 主要研究方向为植物营养, E-mail: 2998958647@qq.com。

通讯作者: 王晓娟, E-mail: juanwxj@126.com。

壤养分含量和酶活性,促进作物生长。

近年来有机肥替代化肥的研究日益增多,有机肥替代化肥的效果会受到作物种类、试验年限、肥料配施比例等多种因素的影响^[16-17],本试验在等氮量条件下,对有机肥氮替代化肥氮的可行性以及不同比例有机肥替代化肥对土壤养分和土壤酶活性的影响进行探讨,以期玉米田间施肥提供科学合理的方案。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于山西省晋中市榆次区东阳镇东阳村(112° 40' 5" E、37° 33' 22" N),属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 10℃左右,多年平均降水量 418 ~ 483 mm,主要集中在 7 ~ 8 月,年日照时数 2662 h,年平均无霜期 160 d 左右,该试验地的土壤类型为黄土状褐土^[18]。2016 年 4 月试验前测 0 ~ 20 cm 土层土壤养分含量如下:有机质 13.00 g/kg,全氮 1.30 g/kg,全磷 0.90 g/kg,全钾 27.10 g/kg,碱解氮 51.20 mg/kg,有效磷 7.70 mg/kg,速效钾 176.40 mg/kg。

1.2 试验设计

本研究始于 2016 年 4 月,试验设置 5 个处理:(1) 100% (225 kg/hm²) 化肥氮 (CK);(2) 25% (56.25 kg/hm²) 有机肥氮 +75% (168.75 kg/hm²) 化肥氮 (M25);(3) 50% (112.5 kg/hm²) 有机肥氮 +50% (112.5 kg/hm²) 化肥氮 (M50);(4) 75% (168.75 kg/hm²) 有机肥氮 +25% (56.25 kg/hm²) 化肥氮 (M75);(5) 100% (225 kg/hm²) 有机肥氮 (M100)。各处理的总氮量均为 225 kg/hm²,并且保持总磷量均为 105 kg/hm²,施入的化肥磷为总磷量 (105 kg/hm²) 扣除施入有机肥所带入的磷含量。

每个试验处理水平设置 3 个重复,共 15 个小区,随机区组排列,小区面积 30 m² (5 m × 6 m)。有机肥为腐熟的羊粪,秋季收获玉米后施入,氮肥为尿素 (N 46%),磷肥为磷酸一铵 (N 12%、P₂O₅ 61%),播种前作基肥一次施入。2018 年秋季施入的有机肥全氮含量为 20.43 g/kg、全磷含量为 9.17 g/kg;2019 年秋季施入的有机肥全氮含量为 23.97 g/kg、全磷含量为 10.63 g/kg。供试作物为玉米,品种为“大丰 30”,种植密度约 49500 株/hm²。在 2019 ~ 2020 年,每年于 5 月中旬种植玉米,9 月下旬收获玉米,并在收获玉米后,为了

使取样具有代表性,每小区用对角线 5 点取样法取 0 ~ 20 cm 土层的土,将 5 个点取出来的土混合为 1 个样品,阴凉处自然风干。

1.3 测定项目与方法

将每个小区风干的土混合均匀,平均分成两份,将其中一份混合均匀分成 4 份,取对角线的两份磨细,过 1 mm 筛用于土壤速效养分和酶活性测定;另外一份混合均匀分成 4 份,取对角线的两份磨细,过 0.149 mm 的筛用于土壤全效养分的测定。土壤养分测定参照《土壤农业化学分析》^[19]:全氮采用凯氏定氮法;碱解氮采用碱解扩散法;全磷采用 HClO₄-H₂SO₄ 法;有效磷采用 Olsen 法。脲酶活性用苯酚钠比色法测定,土壤磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定。本试验测定酶活性采用风干土^[20]。玉米收获时每个小区随机选取 20 穗,自然风干,水分低于 20% 时进行室内考种,统计穗长、穗粗、穗行数、行粒数、秃尖,并按照籽粒含水率 14% 折算百粒重。

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 2016 进行计算并作图,用 SPSS 25.0 进行单因素和双因素方差分析,用 LSD 法进行多重比较,检验 $P < 0.05$ 水平上的差异性。

2 结果与分析

2.1 土壤养分

2019 和 2020 年试验中,与 CK 相比,各有机肥替代化肥处理的土壤全氮和碱解氮含量均无显著差异。在 2019 年试验中,各有机肥替代处理的土壤全氮含量在一定程度上均比 CK 有所降低,但在 2020 年试验中,M100 处理较 CK 增加 7.91%。由表 1 的双因素方差分析结果可知,不同年际和施肥处理 × 年际对土壤全氮和碱解氮含量无显著影响。

有机肥替代处理的土壤全磷含量,在 2019 年与 CK 相比无显著差异,而在 2020 年均比 CK 少,其中 M50、M75、M100 分别为 0.89、0.91、0.90 g/kg,与 CK 相比分别显著减少 17.87%、15.24%、16.47%,M25 与 CK 相比在一定程度上减少 7.24%,表明在本试验条件下,有机肥替代化肥处理会比单施化肥降低土壤全磷含量。由表 1 的双因素方差分析结果可知,年际和施肥处理 × 年际对土壤全磷含量无显著影响。

在 2019 和 2020 年试验中，有机肥替代处理的土壤有效磷含量与 CK 相比均有增加的趋势，其中 M100 处理在 2019 和 2020 年土壤有效磷含量分别为 36.37 和 31.03 mg/kg，与 CK 相比均达到显著差异。在 2020 年试验中，与 CK 相比，有机肥替代

处理的土壤有效磷含量显著增加。表明在本试验条件下，与单施化肥相比，有机肥替代化肥有利于提高土壤有效磷含量。由表 1 的双因素方差分析结果可知，年际和施肥处理 × 年际会显著影响土壤有效磷含量。

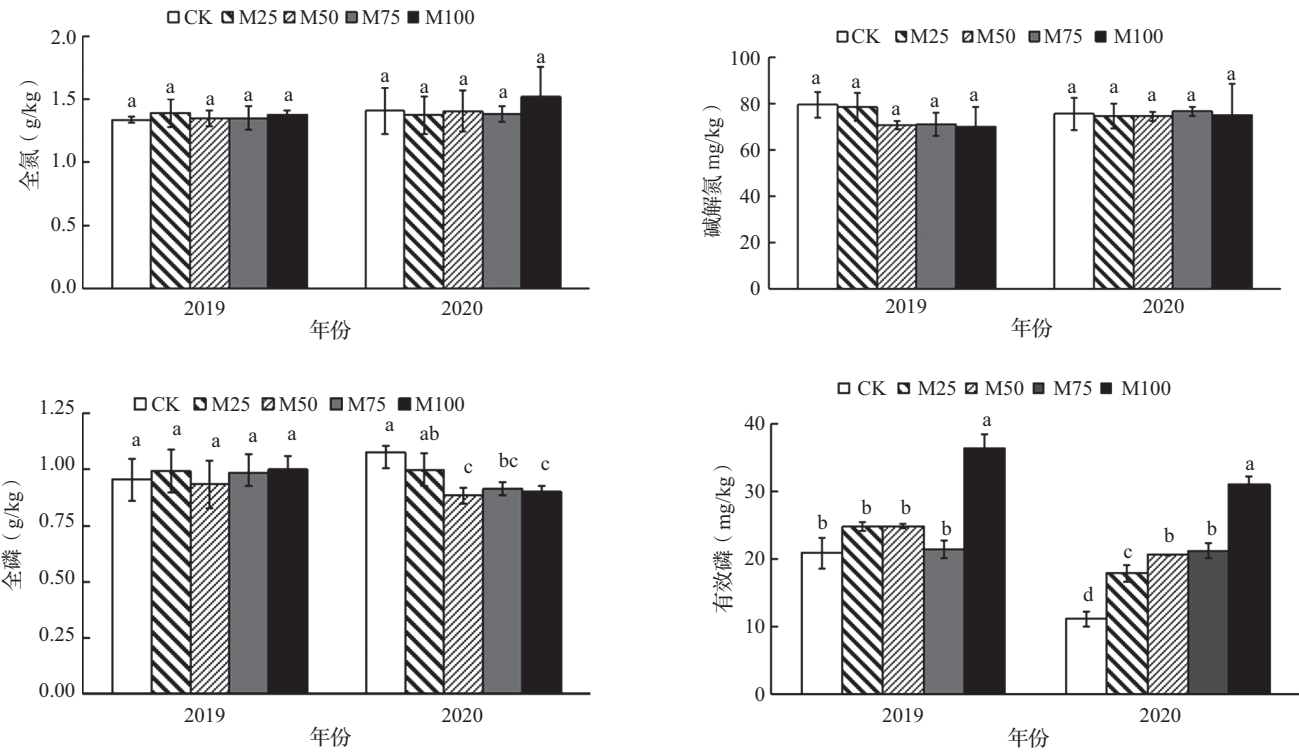


图 1 有机肥等氮量替代化肥对土壤养分的影响

注：图柱上方不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。

表 1 有机肥替代化肥与年际影响土壤养分和酶的双因素方差分析结果（ P 值）

因子	全氮	碱解氮	全磷	有效磷	脲酶	磷酸酶
施肥处理	0.844	0.551	0.209	<0.001	0.212	0.728
年际	0.294	0.561	0.542	<0.001	<0.001	0.002
施肥处理 × 年际	0.921	0.487	0.183	0.002	0.181	0.070

注： $P<0.05$ 表示差异显著。

2.2 土壤酶活性

由表 2 可知，在 2019 年试验中，有机肥替代化肥处理的土壤脲酶和磷酸酶活性分别为 1.85 ~ 2.06、1.04 ~ 1.22 mg/g，在 2020 年试验中，有机肥替代化肥处理的土壤脲酶和磷酸酶活性分别为 1.64 ~ 1.75、1.19 ~ 1.40 mg/g。2019 和 2020 年试验中，与 CK 相比，有机肥替代处理的土壤脲酶活性和磷酸酶活性均无显著差异。由表 1 的双因素方差分析结果可知，施肥处理 × 年际对土壤脲酶和磷酸酶无显著影响，但年际会显著影响土壤脲酶

表 2 有机肥等氮量替代化肥对土壤酶活性的影响（mg/g）

处理	2019 年		2020 年	
	脲酶	磷酸酶	脲酶	磷酸酶
CK	1.93 ± 0.10ab	1.07 ± 0.12a	1.67 ± 0.14a	1.26 ± 0.09a
M25	2.06 ± 0.06a	1.22 ± 0.17a	1.73 ± 0.09a	1.19 ± 0.05a
M50	1.90 ± 0.05ab	1.04 ± 0.03a	1.64 ± 0.09a	1.34 ± 0.13a
M75	1.85 ± 0.11b	1.10 ± 0.10a	1.75 ± 0.07a	1.40 ± 0.14a
M100	1.89 ± 0.09ab	1.20 ± 0.09a	1.75 ± 0.06a	1.22 ± 0.11a

注：表中数据为平均值 ± 标准差，不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

和磷酸酶。

2.3 玉米穗部性状

由表 3 可知, 有机肥替代处理的穗长、穗粗、穗行数、行粒数较 CK 在 2019 和 2020 年均无显著差异, 但在 2020 年试验中, 有机肥替代处理的秃尖长均比 CK 小, 其中 M25、M50、M75、M100 比 CK 分别减少 28.57%、26.53%、14.29%、24.49%。

与 CK 相比, M75、M100 的百粒重显著增加, 分别增加 10.14% ~ 14.17%、20.54%。

两年的试验结果表明, 与单施化肥相比, 有机肥替代化肥对玉米穗长、穗粗、穗行数、行粒数均无显著差异, 75% 和 100% 的有机肥替代比例显著增加玉米百粒重, 25%、50%、100% 的有机肥替代比例显著降低玉米秃尖长。

表 3 有机肥等氮量替代化肥对玉米穗部性状的影响

年份	处理	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	秃尖长 (cm)	行粒数	穗行数	百粒重 (g)
2019	CK	19.62 ± 0.36a	4.73 ± 0.18a	1.40 ± 0.27a	37.78 ± 0.53ab	16.87 ± 0.81a	32.95 ± 0.94b
	M25	19.84 ± 0.88a	4.78 ± 0.04a	1.45 ± 0.09a	37.18 ± 0.42b	16.57 ± 0.12a	34.83 ± 1.97ab
	M50	20.64 ± 0.29a	4.69 ± 0.10a	1.53 ± 0.06a	39.72 ± 0.21a	16.87 ± 0.06a	36.09 ± 0.38ab
	M75	20.45 ± 0.63a	4.82 ± 0.07a	1.24 ± 0.21a	40.12 ± 0.71a	16.27 ± 0.23a	36.29 ± 1.25a
	M100	19.95 ± 1.02a	4.64 ± 0.19a	1.47 ± 0.28a	37.35 ± 2.56b	16.65 ± 0.35a	32.83 ± 2.83b
2020	CK	20.27 ± 0.23a	4.87 ± 0.15a	1.63 ± 0.21a	39.17 ± 1.37a	16.60 ± 0.52a	33.87 ± 2.70c
	M25	20.07 ± 0.38a	4.97 ± 0.12a	1.17 ± 0.06b	40.40 ± 1.47a	17.03 ± 0.15a	36.31 ± 1.31bc
	M50	20.47 ± 0.15a	5.00 ± 0.10a	1.20 ± 0.00b	40.30 ± 1.54a	16.53 ± 0.15a	36.28 ± 0.87bc
	M75	20.03 ± 0.21a	4.93 ± 0.06a	1.4 ± 0.00ab	39.07 ± 2.15a	16.87 ± 0.23a	38.67 ± 2.58ab
	M100	20.40 ± 0.17a	4.90 ± 0.10a	1.23 ± 0.15b	39.70 ± 1.83a	16.80 ± 0.35a	40.83 ± 1.64a

3 讨论与结论

3.1 土壤养分

本试验中, 与单施化肥相比, 有机肥等氮量替代化肥各处理的土壤全氮含量无显著差异。可能是因为本试验设计的各处理中, 施入的全氮含量相等, 此外, 有研究表明, 有机肥替代化肥可以提高小麦氮的花后土壤吸收^[21], 有机氮替代化肥氮也会影响玉米对氮的利用效率, 从而影响收获后土壤氮素含量^[22]。温延臣等^[23]连续 3 年定位监测商品有机肥部分替代化肥试验, 发现有机肥替代化肥处理的土壤全氮含量显著高于单施化肥处理。与本试验结果不一致, 可能是因为有机肥带入的养分含量不同, 试验地自然环境因素不同。卜容燕等^[24]连续 3 年的田间试验表明, 与单施化肥相比, 等氮条件有机肥替代化肥的土壤全氮含量增加 4.10%, 但是未达到显著水平。在本试验中, 有机肥替代处理的土壤全氮含量均比单施化肥小, 但是未达显著水平, 只有在施肥第 5 年 M100 处理的土壤全氮含量在一定程度上较单施化肥增加 7.91%, 有机肥等氮量替代化肥对土壤全氮

的影响可能与施肥年限有关, 还需要进一步长期研究。

周喜荣等^[25]的试验表明, 有机无机配施较单施化肥显著提高土壤碱解氮含量。但是, 在本试验条件下, 与单施化肥相比, 有机肥替代处理的土壤碱解氮含量无显著差异。玉米生长过程中会吸收肥料中的有效氮, 并且化肥氮中的无机氮含量多, 硝态氮和铵态氮易造成氨挥发和硝酸盐的淋失^[26-27]以及碱解氮的损失。有机肥中的无机氮 (主要为硝态氮和铵态氮) 含量少^[28], 但有机肥中的氮主要是缓效氮, 矿化后会变成有效氮^[29], 并且随着有机肥替代化肥施肥年限的增长, 土壤中缓效养分必然会有所积累, 供氮潜力变大。可能是这两方面的原因造成有机肥替代化肥的土壤碱解氮含量较单施化肥无显著差异。

有机肥种类不同对土壤磷素含量的影响也有所不同^[30]。在 2020 年试验中, 50%、75%、100% 有机肥氮替代化肥氮的土壤全磷含量显著低于单施化肥; 在 2019 年试验中, 与单施化肥相比, 有机肥氮替代化肥氮处理的土壤有效磷含量有增加的趋势, 2020 年试验中有机肥氮替代化肥氮的土壤有

效磷含量显著高于单施化肥,可能与无机磷与有机肥配施可以提高土壤磷有效性和减少磷的损失有关^[31]。马凡凡等^[32]和卢丽兰等^[33]的试验表明,100%有机肥替代化肥处理的土壤有效磷含量显著高于单施化肥处理和其他替代比例处理,与本试验结果一致。邢鹏飞等^[34]连续4年有机肥替代部分无机肥的试验表明,有机肥替代化肥的比例越高,土壤中有效磷的含量越高,此结论与本试验结果具有相似性。在本试验中年际会影响土壤有效磷的含量,这可能与两年的灌水量不同有关,水分会影响玉米对有效磷的吸收,也可能是年际施肥积累的结果,具体原因需长期跟踪研究。

3.2 土壤酶活性

土壤酶活性是评价土壤肥力的重要指标^[35]。土壤酶活性会受施肥种类、管理耕作方式和环境条件等的影响^[36-38]。王兴龙等^[37]的试验表明,有机无机配施较单施化肥增加了土壤脲酶活性。宋以玲等^[38]的试验表明,化肥减量配施生物有机肥较单施化肥,降低了土壤脲酶活性。王俊华等^[39]的研究表明,施有机肥或有机无机配施的土壤磷酸酶活性显著高于单施化肥。本试验中,有机肥等氮替代化肥对土壤脲酶和磷酸酶活性的影响无显著差异。此结论与宋震震等^[40]的有机肥施入量越多酶活性越高的结果不一致,可能与施肥年限、肥料量、试验设计不同有关。本试验中,低比例有机肥替代化肥处理中,无机氮施入比较多,氮肥以尿素为主,尿素的施用可以促进分解尿素的微生物繁殖,进而提高了土壤脲酶活性,但是另一方面,高比例有机肥替代化肥处理中,有机肥施入相对较多,提供土壤微生物所需的碳源,为土壤微生物提供了良好的环境,促进微生物增殖,提高酶活性^[34, 37]。本试验条件下有机肥和化肥的共同影响使土壤酶活性无显著差异。有机肥等氮量替代化肥对土壤酶活性影响差异不显著的具体原因还有待进一步研究。

3.3 玉米穗部性状

本试验中,与单施化肥相比,有机肥氮替代化肥氮处理的秃尖长都有所降低,其中25%、50%、100%有机肥氮替代比例的秃尖长显著降低;与单施化肥相比,有机肥氮替代化肥氮处理的百粒重都有所增加,其中75%、100%有机肥氮替代比例的百粒重显著增加。由此可见,有机肥替代化肥在一定程度上可以减少玉米秃尖长,增加玉米百粒重,

可以改善玉米的穗部形状,这与前人的研究结果一致^[9]。由于试验年限不同、土壤类型不同、种植制度不同等外部因素对试验结果有一定的影响,为了更深入地了解土壤养分和土壤酶活性对有机肥等氮替代化肥的响应,还需要进一步长期的试验,长期试验更具统计意义^[34, 40]。

参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
- [2] 金书秦,周芳,沈贵银. 农业发展与面源污染治理双重目标下的化肥减量路径探析[J]. 环境保护, 2015, 43(8): 50-53.
- [3] 麻坤,刁钢. 化肥对中国粮食产量变化贡献率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 1113-1120.
- [4] 周建斌. 作物营养从有机肥到化肥的变化与反思[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1686-1693.
- [5] 张健男,谢洪宝,孙阔. 有机肥合理增施对土壤性质影响研究综述[J]. 中国农学通报, 2018, 34(27): 124-129.
- [6] 路国彬,王夏晖. 基于养分平衡的有机肥替代化肥潜力估算[J]. 中国猪业, 2016, 11(11): 15-18.
- [7] Yang J, Gao W, Ren S. Long-term effects of combined application of chemical nitrogen with organic materials on crop yields, soil organic carbon and total nitrogen in fluvo-aquic soil[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 151: 67-74.
- [8] 马蓓. 有机肥替代部分氮肥对亚热带稻田土壤肥力与产量的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017. 28-30.
- [9] 何浩,危常州,李俊华,等. 商品有机肥替代部分化肥对玉米生长、产量及土壤肥力的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(2): 325-332.
- [10] 杜春燕. 有机肥替代化肥对果实产量、品质及土壤肥力的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019. 40-41.
- [11] 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.
- [12] 李其胜,赵贺,汪志鹏,等. 有机肥替代部分化肥对稻麦轮作土壤养分利用和酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 912-919.
- [13] 何浩,张宇彤,危常州,等. 等养分条件下不同有机肥替代率对玉米生长及土壤肥力的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(2): 454-461.
- [14] 梁元振,赵京考,吴德亮,等. 秋施有机肥对土壤生物学、理化性状及玉米产量的影响[J]. 水土保持研究, 2017, 24(3): 113-118.
- [15] Liu E, Yan C, Mei X, et al. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China[J]. Geoderma, 2010, 158(3): 173-180.
- [16] 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.
- [17] 周凯, 郑文才. 有机肥替代化肥对辣椒产量与土壤养分的影响[J]. 耕作与栽培, 2019, 39(6): 14–19.
- [18] 郭彩霞, 黄高鉴, 王永亮, 等. 红芸豆对氮素的需求规律及适宜施氮量研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(7): 979–989.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 赵颖, 史晓爽, 周连仁, 等. 土壤样品风干后对土壤酶活性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(11): 126–129.
- [21] 张奇茹, 谢英荷, 李廷亮, 等. 有机肥替代化肥对旱地小麦产量和养分利用效率的影响及其经济环境效应[J]. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4866–4878.
- [22] 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.
- [23] 温延臣, 张曰东, 袁亮, 等. 商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(11): 2136–2142.
- [24] 卜容燕, 李敏, 韩上, 等. 有机无机肥配施对双季稻轮作系统产量、温室气体排放和土壤养分的综合效应[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 145–153.
- [25] 周喜荣, 张丽萍, 孙权, 等. 有机肥与化肥配施对果园土壤肥力及鲜食葡萄产量与品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(6): 861–868.
- [26] Xing G X, Zhu Z L. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 57(1): 67–73.
- [27] Cao B, Xu D W, Zhang Y H, et al. NPS pollution assessment in CHAO LAKE watershed based on ECM[C]//Proceedings of the 2013 the International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE 2013), 2013.
- [28] 唐继伟, 徐久凯, 温延臣, 等. 长期单施有机肥和化肥对土壤养分和小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11): 1827–1834.
- [29] 黄晶, 高菊生, 张杨珠, 等. 长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1889–1894.
- [30] 宋佳明, 蔡红光, 张秀芝, 等. 施用不同种类有机肥对黑土磷素含量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2019, 41(6): 707–712.
- [31] Mao X, Xu X, Lu K, et al. Effect of 17 years of organic and inorganic fertilizer applications on soil phosphorus dynamics in a rice–wheat rotation cropping system in eastern China[J]. Journal of Soils and Sediments, 2015, 15(9): 1889–1899.
- [32] 马凡凡, 邢素林, 甘曼琴, 等. 有机肥替代化肥对水稻产量、土壤肥力及农田氮磷流失的影响[J]. 作物杂志, 2019(5): 89–96.
- [33] 卢丽兰, 杨新全, 赵世翔, 等. 有机肥与化肥配施对广藿香生长、品质及土壤养分的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 184–191.
- [34] 邢鹏飞, 高圣超, 马鸣超, 等. 有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性、酶活性及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 98–104.
- [35] 王灿, 王德建, 孙瑞娟, 等. 长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 688–692.
- [36] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406–410.
- [37] 王兴龙, 朱敏, 杨帆, 等. 配施有机肥减氮对川中丘区土壤微生物量与酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 271–276.
- [38] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(1): 352–360.
- [39] 王俊华, 尹睿, 张华勇, 等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 191–196.
- [40] 宋震震, 李絮花, 李娟, 等. 有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 525–533.

Effects of organic manure replacing chemical fertilizer with equal nitrogen on soil nutrients and enzyme activities

XU Lu-lu¹, WANG Xiao-juan^{2, 3, 4*} [1. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan Shanxi 030031; 2. Shanxi Institute of Organic Dryland Farming, Shanxi Agricultural University, Taiyuan Shanxi 030031; 3. State Key Laboratory of Sustainable Dryland Agriculture (in preparation), Shanxi Agricultural University, Taiyuan Shanxi 030031; 4. Shanxi Key Laboratory of Organic Dryland Farming, Shanxi Agricultural University, Taiyuan Shanxi 030031]

Abstract: Through five years of positioning experiment, the effects of organic manure replacing chemical fertilizer on soil nutrients and enzyme activities were studied, and reducing fertilizer and increasing fertilizer efficiency was explored. Five different fertilization treatments were set up in the field experiment: (1) 100% chemical fertilizer nitrogen (CK); (2) 25% organic manure nitrogen + 75% chemical fertilizer nitrogen (M25); (3) 50% organic manure nitrogen + 50% chemical fertilizer nitrogen (M50); (4) 75% organic manure nitrogen + 25% chemical fertilizer nitrogen (M75); (5) 100% organic manure nitrogen (M100). The results showed that: compared with CK, there was no significant

difference in soil total nitrogen and alkali-hydrolyzable nitrogen content in 2019 (the fourth year of fertilization) and 2020 (the fifth year of fertilization) for organic manure replacement treatments, while there was no significant difference in total phosphorus content in 2019, but the total phosphorus content in 2020 in organic manure replacement treatments were lower than CK. M50, M75 and M100 treatments were 0.89, 0.91 and 0.90 g/kg, significantly reduced by 17.87%, 15.24% and 16.47%, respectively, compared with CK. M25 treatment had no significant difference compared with CK. In 2019 and 2020, soil available phosphorus content of M100 treatment was 31.03 ~ 36.37 mg/kg. Compared with CK, M100 treatment significantly increased soil available phosphorus content. In the experiment of 2020, the content of soil available phosphorus in each organic fertilizer replacement treatment group was significantly higher than that of CK. Compared with CK, there were no significant differences in soil urease activity and phosphatase activity in organic fertilizer replacement group. In the experiment, there were no significant differences in ear length, ear diameter, ear row number and grain number per row of organic manure replacement treatments compared with CK. However, the bald tip of organic manure replacement treatments were smaller than that of CK in 2020, M25, M50, M75 and M100 treatments were 28.57%, 26.53%, 14.29% and 24.49% less than CK, respectively. Compared with CK, the hundred grain weight of M75 and M100 treatments increased significantly by 10.14% ~ 14.17% and 20.54%, respectively. Compared with the single application of chemical fertilizer, the replacement of organic manure with equal nitrogen amount could not reduce soil nutrient content (in addition to the total phosphorus content decreases) and soil enzyme activity, could increase to some extent the maize grain hundred grain weight, reduce bald tip length, but also could optimize ear traits of maize to a certain extent and reduce the application of chemical fertilizer. Therefore, the replacement of organic manure with equal nitrogen amount is a fertilization way of fertilizer saving, efficiency increasing and environment protecting.

Key words: organic manure; chemical fertilizer; nutrients; enzyme; maize