doi：10.11838/sfsc.20180307

等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对黑垆土氮素及相关酶活性的影响

程万莉，樊廷录*，张建军，赵　刚，党　翼，王　磊，李尚中

（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：为研究长期施用不同有机物料氮替代部分无机氮对黑垆土氮素转化及酶活性的影响，在陇东旱塬上进行了连续12年的大田定位试验，研究了用生物有机肥、农家肥、小麦秸秆替代部分无机氮肥后0～10和10～20 cm土壤不同形态氮素和相关酶活性的变化特征。结果表明：与长期单施化肥相比，长期用3种有机物料氮替代部分无机氮均可提高土壤不同形态氮素含量和相关酶活性，其中施用生物有机肥的处理不同形态氮素含量和酶活性均最高；除硝酸还原酶外，铵态氮、硝态氮和微生物生物量氮含量以及脲酶、荧光素二乙酸酯水解酶活性均为上层土壤高于下层土壤。因此，生物有机肥是陇东旱塬黑垆土农业区替代部分无机氮的首选有机物料。

关键词：等氮；有机物料替代；氮素形态；酶活性

中图分类号：S154.2；S147.4　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1673－6257（2018）03－0042－06

氮是植物生长发育所需的大量营养元素，在作物产量和品质形成中起着关键作用。同时，土壤氮又易于耗竭成为限制植物生长的营养元素之一，农业生产中单纯追求作物产量，长期单一过量施用化肥导致土壤理化性状恶化，生物活性降低，引起土壤退化[1]，投入产出比降低[2]，尤其是无机氮过量导致地下水和植物体硝酸盐含量超标，作物品质下降[3-5]。因此合理施氮是作物获得优质高产的关键措施。用有机肥替代部分无机肥是到2020年实现化肥零增长目标的一个重要途径，不仅可减肥增效，提高养分资源利用效率，也可以有机促无机，提高化肥利用率，改良土壤肥力，提高土壤生物活性。近年来我国科研人员已针对不同有机替代方式及施肥管理措施对土壤氮素转化及酶活性的影响开展了大量研究，但由于其变化受气候条件、土壤质地、施肥方式以及耕作制度等环境条件和人为活动的影响很大，研究结果不尽相同[6-8]。

本研究始于2005年在陇东旱塬布设的等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮的定位试验，探索等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对黑垆土土壤氮素转化及土壤酶活性变化的影响，以探明用何种有机物料氮替代部分无机氮更有利于改良黑垆土土壤肥力，提高酶活性，旨在为该区农业投入实现化肥使用零增长，确保黄土旱塬区粮食生产稳定可持续提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验区位于甘肃省镇原县上肖乡梧桐村塬面上，属黄土高原残塬沟壑区，依托农业部西北旱作营养与施肥科学观测实验站（N 35°29′42″，E107°29′36″）进行。该区平均海拔1 200 m，年平均气温8.7℃，全年无霜期285 d，年平均降水量520 mm，降水量少且季节分布不均，主要集中在7～9月，地下水埋深80 m，无灌溉水源，属半湿润偏旱区，是典型的旱作雨养农业区。供试土壤为发育良好的覆盖黑垆土。试验开始时0～20 cm土壤养分含量为有机质11.70 g/kg、全氮0.98 g/kg、全磷0.68 g/kg、全钾33.6 g/kg、碱解氮60.3 mg/kg、有效磷10.7 mg/kg、速效钾121.2 mg/kg。

1.2　试验设计

等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮定位试验设5个处理（表1），3次重复，随机区组排列，分别为CK（不施肥），CF（单施无机

收稿日期：2017－11－03；**最后修订日期：**2017－12－26

基金项目：国家科技支撑计划（2015BAD22B02－02）；甘肃省农业科学院中青年基金（2016GAAS32）。

作者简介：程万莉（1989－），女，甘肃靖远县人，研究实习员，硕士，研究方向为旱作营养与施肥。E－mail：chwlir@163.com。

通讯作者：樊廷录，E－mail：13893425734@163.com。

肥）、FM（农家肥 + 无机肥）、FS（小麦秸秆 + 无机肥）、FB（生物有机肥 + 无机肥）。肥料施用量除 CK 处理外，FS、FM 和 FB 处理是在等氮、磷的条件下，根据相应有机物料所含氮、磷量乘以其施用量，得到所施用有机物料的总氮、磷含量，其不足 180 kg/hm^2 氮和不足 105 kg/hm^2 磷的部分养分用化肥氮、磷补足。小区面积 24 m^2（4 m × 6 m）。无机氮肥为尿素（N 46%），基肥∶追肥质量比为 7∶3，追肥于返青期施入；磷肥为过磷酸钙（P_2O_5 12%），一次性基肥施入；生物有机肥养分含量为：N 5.0%、P_2O_5 2.5%，有机质≥45%，有效活菌数≥2 亿个/g，腐植酸≥10%，一次性基肥施入；农家肥即土粪，由猪粪与干土混匀自然堆制而成，其养分含量为：有机质 14.7%，N 0.27%，P_2O_5 0.25%，一次性基肥施入；小麦秸秆养分含量为：N 0.93%，P_2O_5 0.36%，于每年夏休闲期结合土壤耕翻施入。采用冬小麦连作种植模式，供试冬小麦品种为“陇鉴 301”，每年 9 月下旬播种，次年 6 月下旬收获，一年一熟。各处理定期除草松土，除肥料种类不同外，其它栽培管理措施同大田。

表 1 肥料种类及用量 （kg/hm^2）

处理	总氮	总磷	无机氮肥	无机磷肥	农家肥	小麦秸秆	生物有机肥
CK	—	—	—	—	—	—	—
CF	180	105	180	105	—	—	—
FS	180	105	125.5	83.5	—	6 000	—
FM	180	105	72	5	40 000	—	—
FB	180	105	120	75	—	—	1 200

1.3 测定方法

供试土壤于 2017 年 6 月小麦收获前，采用对角线 5 点混合采样法，用土钻按 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 分层采集土壤样品，将采集的土样混合，一部分装于无菌采样袋，置于装有冰袋的保温盒带回实验室，过 2 mm 筛后 4℃保存，用于测定土壤硝态氮、铵态氮、微生物生物量氮（SMN）和荧光素二乙酸酯（FDA）水解酶；另一部分风干过筛，用于测定土壤脲酶、硝酸还原酶以及全氮、pH 值、有机质。

土壤有机质采用重铬酸钾 - 外加热法；土壤铵态氮、硝态氮采用 1 mol/L KCl 浸提，流动注射仪测定；SMN 采用氯仿熏蒸 - K_2SO_4 浸提法（FE）测定，换算系数为 0.45；脲酶采用苯酚钠 - 次氯酸钠比色法；FDA 水解酶采用荧光素二乙酸酯比色法；硝酸还原酶采用酚二磺酸比色法。

1.4 数据处理

本研究所列结果为 3 次重复测定值的平均值，数据经 Excel 2016 整理后，采用 SPSS 22 软件进行方差分析和相关性分析，多重比较采用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤基本理化性质的影响

等氮下长期有机物料氮替代部分无机氮土壤基本理化性质见表 2。与长期连作不施肥处理（CK）相比，用有机物料氮替代部分无机氮及单施化肥处理（CF）均可明显提高 0 ~ 20 cm 土壤有机质含量和 C/N 值，降低 pH 值。土壤有机质含量在 0 ~ 10 cm 土层由大到小为 FB > FM > FS > CF > CK，其中 FB 处理有机质含量最高，分别较 CK 和 CF 增加 13.62%、10.13%。10 ~ 20 cm 变化趋势与 0 ~ 20 cm 土层一致，FB 处理有机质含量较 CK 增加 24.18%，较 CF 增加 13.72%。各处理上土层有机质含量高于下土层。

土壤 C/N 上下土层呈现出不同的变化趋势，0 ~ 10 cm 土层由大到小依次为 FB > FS > FM > CK > CF，10 ~ 20 cm 土层为 FM > FS > FB > CF > CK。

土壤 pH 值在 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层均为 CK 显著高于其它施肥处理，CF 最低，用有机物料氮替代部分无机氮的处理 pH 值略高于 CF，但差异不显著。

表 2　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤基本理化性质的影响

处理	pH 值		有机质（g/kg）		C/N	
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm
CK	7.76 ± 0.01a	7.83 ± 0.05a	11.67 ± 2.64b	10.01 ± 2.10d	7.61 ± 0.46b	4.44 ± 0.65d
CF	7.66 ± 0.04b	7.69 ± 0.03b	12.04 ± 3.19ab	10.93 ± 2.37c	7.13 ± 0.22c	6.93 ± 0.26b
FS	7.68 ± 0.02b	7.70 ± 0.06b	12.89 ± 2.22a	11.57 ± 1.98b	8.76 ± 0.38ab	8.39 ± 0.48a
FM	7.69 ± 0.03b	7.72 ± 0.01b	12.91 ± 1.68a	11.81 ± 1.65ab	8.65 ± 0.52ab	8.78 ± 0.36a
FB	7.69 ± 0.04b	7.71 ± 0.08b	13.26 ± 1.32a	12.43 ± 2.83a	9.06 ± 0.95a	7.64 ± 0.55c

注：在同一列中，相同小写字母表示各指标在不同施肥处理下差异不显著（$F < F_{0.05}$）。下同。

2.2　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤氮含量的影响

等氮下长期有机物料氮替代部分无机氮土壤全氮、铵态氮、硝态氮和微生物生物量氮在两个土层的含量见表 3。全氮含量在 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层均表现为上层高于下层，施肥处理显著高于不施肥处理，用有机物料氮替代部分无机氮处理高于 CF，其中 FB 含量最高，其次为 FM、FS。

土壤铵态氮含量在 0 ~ 10 cm 土层为 1.42 ~ 2.35 mg/kg，与 CK 相比，施肥处理显著增加了土壤铵态氮含量，增幅达到 49.30% ~ 65.49%，其中 FB 处理土壤铵态氮含量增幅最大，显著高于 CF，较 CF 增加 10.85%。10 ~ 20 cm 土层中铵态氮的含量为 1.23 ~ 2.20 mg/kg，含量大小依次为 FB > FM > FS > CF > CK。各个处理土壤铵态氮含量均表现为上层高于下层。

土壤硝态氮含量在 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层变化趋势一致，均为 FB > FM > FS > CF > CK。与 CF 相比，长期用有机物料氮替代部分无机氮上层和下层土壤硝态氮含量分别增加 15.52% ~ 31.83%、21.26% ~ 26.35%。所有处理上层土壤硝态氮含量均高于下层。

0 ~ 10 cm 土层微生物生物量氮含量范围为 59.39 ~ 94.45 mg/kg。FB 含量最高，比 CF 增加 43.95%，FM 和 FS 分别较 CF 增加 25.65%、24.02%，CK 较 CF 降低 10.47%。10 ~ 20 cm 土层微生物生物量氮的含量范围是 38.66 ~ 83.75 mg/kg，均低于上层土壤，含量顺序与上层土壤一致，由高到低依次是 FB > FM > FS > CF > CK。

相关性分析结果发现，铵态氮与微生物生物量氮呈极显著正相关，全氮和微生物生物量氮显著相关，相关系数分别为 0.77 和 0.65。

表 3　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤氮含量的影响

处理	全氮（g/kg）		铵态氮（mg/kg）		硝态氮（mg/kg）		微生物生物量氮（mg/kg）	
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm
CK	0.56 ± 0.09c	0.48 ± 0.03c	1.42 ± 0.02c	1.23 ± 0.23d	4.47 ± 0.13d	2.68 ± 0.85d	59.39 ± 3.18c	38.66 ± 1.74c
CF	1.03 ± 0.04b	0.78 ± 0.05b	2.12 ± 0.07b	1.52 ± 0.19c	5.09 ± 0.22c	3.34 ± 0.90c	65.61 ± 6.36d	40.27 ± 2.12c
FS	1.05 ± 0.24b	0.80 ± 0.05b	2.13 ± 0.14b	1.71 ± 0.41b	5.88 ± 0.18b	4.05 ± 0.84b	81.37 ± 4.01b	60.31 ± 3.90b
FM	1.09 ± 0.06b	0.83 ± 0.06b	2.22 ± 0.03ab	1.80 ± 0.09b	6.27 ± 0.29ab	4.06 ± 0.98b	88.24 ± 3.47ab	64.90 ± 3.12b
FB	1.12 ± 0.03a	1.04 ± 0.02a	2.35 ± 0.05a	2.20 ± 0.10a	6.71 ± 0.28a	4.22 ± 0.65a	94.45 ± 2.22a	83.75 ± 1.41a

2.3　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤酶的影响

2.3.1　对土壤脲酶活性的影响

土壤脲酶是一种专性水解酶，与土壤氮素转化利用关系密切，酶促反应产物氨是植物氮素的主要来源，其活性是衡量土壤氮素水平的重要指标之一。各处理脲酶活性如图 1 所示。0 ~ 10 cm 土层，脲酶活性顺序为 FB > FM > FS > CF > CK，与 CK 相比，施肥处理增幅为 185% ~ 138%；与 CF 相比，用有机物料氮替代部分无机氮的 FB、FM 和 FS 增幅分别为 134%、116% 和 104%。10 ~ 20 cm 土层，FB、FM、FS 和 CF 分别较 CK 增幅为 225%、150%、166% 和 144%，FB、FM 和 FS 分别较 CF 增幅为 157%、104% 和 115%。脲酶在 0 ~ 10 cm 土层的活性显著高于 10 ~ 20 cm。

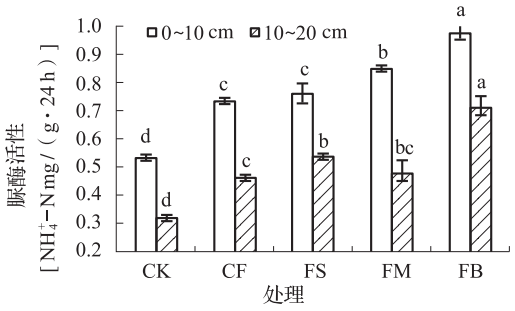

图 1　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤脲酶活性的影响

注：不同小写字母表示差异达 5% 显著水平，下同。

2.3.2　对土壤硝酸还原酶活性的影响

硝酸还原酶是反硝化过程需要的一种重要的酶，是在嫌气条件下将土壤中硝酸盐转变为亚硝酸盐的限速酶和调节酶，通过影响土壤氮素的转化强度，从而影响植物氮代谢和生长发育[9]。如图 2 所示，0 ~ 10 cm 土层，FB 和 FS 处理硝酸还原酶活性显著高于 CK 和 CF，其中 FB 活性最高，较 CF 和 CK 增幅分别为 6.94% 和 19.12%。10 ~ 20 cm 土层，土壤硝酸还原酶的活性为有机物料氮替代部分无机氮的处理显著高于 CF 和 CK，由大到小依次为 FB > FS > FM > CF > CK。两个土层之间，土壤硝酸还原酶活性为上层低于下层。

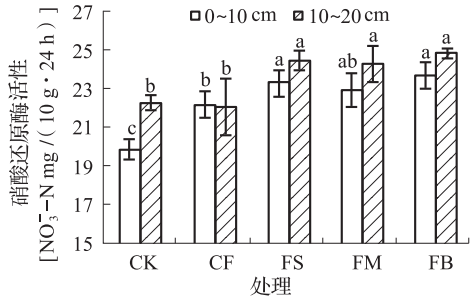

图 2　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤硝酸还原酶活性的影响

2.3.3　对土壤 FDA 水解酶活性的影响

荧光素二乙酸酯（FDA）水解酶能够很好地反应土壤生物的活性，间接影响土壤氮素的转化，因此被认为是土壤健康质量的生物学指标之一[10]。如图 3 所示，0 ~ 10 cm 土层，用有机物料氮替代部分无机氮处理的 FDA 水解酶活性显著高于 CF 和 CK，FB、FM 和 FS 分别较 CF 增幅为 114%、111% 和 111%，分别较 CK 增幅为 116%、113% 和 113%，但 3 种有机物料氮处理间差异不显著。10 ~ 20 cm 土层，土壤 FDA 水解酶活性为 FB > FS > FM > CF > CK，有机物料氮替代部分无机氮的处理均显著高于 CK 和 CF，且 CF 活性低于 CK。所有处理上层土壤 FDA 水解酶活性均显著高于下层。

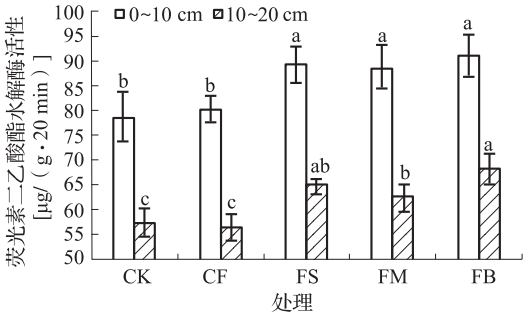

图 3　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤 FDA 水解酶活性的影响

2.4　土壤氮素形态和相关酶活性之间的相关性分析

如表 4 所示，脲酶和全氮、微生物生物量氮极显著相关，相关系数分别为 0.88 和 0.80，与铵态氮显著相关，相关系数为 0.72。硝酸还原酶与铵态氮显著相关，相关系数为 0.62。FDA 水解酶活性与全氮、铵态氮和微生物生物量氮极显著相关，相关系数分别为 0.79、0.75 和 0.89。

表 4　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮土壤酶活性与氮素含量的相关系数

相关系数	全氮	铵态氮	硝态氮	微生物生物量氮
脲酶活性	0.88 **	0.72 *	0.56	0.80 **
硝酸还原酶活性	0.57	0.62 *	0.21	0.51
FDA 水解酶活性	0.79 **	0.75 **	0.47	0.89 **

注：* 表示 $P < 0.05$，** 表示 $P < 0.01$。

3　讨论

3.1　等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤氮素含量和分布的影响

本研究结果表明，连续 12 年用不同种类的有机物料氮替代部分无机氮显著提高了土壤中不同形态氮素的含量。不同施肥处理土壤全氮、铵态氮、硝态氮和微生物生物量氮含量整体表现是施肥处理高于不施肥，有机物料氮替代部分无机氮的处理高于单施化肥的处理，不同有机物料氮的处理由大到小为 FB > FM > FS。这主要是因为：1）有机物料氮含有大量的有效碳源，特别是施用生物有机肥，相当于接种微生物于土壤中，可提高土壤微生物活性及其生物量，促使微生物同化更多铵态氮，显著提高土壤中铵态氮含量[11-12]；2）长期施用有机物

料氮后土壤 pH 值略高于单施化肥，可激发自养硝化，提高硝态氮含量[13-14]；3）有机物料氮的施用提高了异养硝化过程，可促进铵态氮向硝态氮转变的氧化作用，提高硝态氮含量[15]。

各处理 0～10 cm 土层不同形态氮含量均显著高于 10～20 cm，这一方面是由于植物凋落物主要分布在上层，另一方面是因为植物根系集中分布在下层，可吸收利用大量氮素，减少积累量。

3.2 等氮条件下长期施用有机物料氮替代部分无机氮对土壤酶活性的影响

植物－土壤－根际微生物组成了极其复杂的土壤微生态系统，在种植制度、耕作方式、作物根系分泌物和土壤背景值相同的条件下，肥料种类及施用量能够影响土壤微生物区系结构、生理类群及酶活性[16-18]。在本研究中，长期用生物有机物料氮替代部分无机氮的处理土壤脲酶、硝酸还原酶和荧光素二乙酸酯水解酶活性最高，显著高于不施肥和单施化肥处理。前人已有研究认为，土层越深土壤酶的活性越低[19]。这主要是因为在土壤上层，植物根系、根系周围及有机残体等含有大量的酶原，植物根系、土壤动物和微生物的种类和数量越多，生理活性越强，就会释放出更多的酶[20]。本研究中上层土壤中的脲酶和荧光素二乙酸酯水解酶活性显著高于下层，而硝酸还原酶活性为上层低于下层，这可能是因为下层土壤空气含量低，更有利于反硝化作用的进行。

脲酶活性和铵态氮显著相关，与全氮和微生物生物量氮极显著相关。这是由于脲酶的主要作用是将尿素转化为铵，其活性越高转换能力越强，铵态氮含量就越高。土壤脲酶活性变化与铵态氮含量变化基本一致，这与前人研究结果一致[21]。Eivazi[22]研究也发现微生物生物量氮与脲酶活性极显著相关。荧光素二乙酸酯水解酶活性与全氮、铵态氮和微生物生物量氮极显著相关，这与马星竹[23]在长期施肥的黑土和棕壤上荧光素二乙酸酯水解酶活性变化的相关研究结果一致。已有研究认为速效氮是影响土壤硝酸还原酶活性的主要因素[24]，也有研究认为硝态氮浓度增加会激活反硝化进程，提高硝酸还原酶活性[25]，而本研究结果发现硝酸还原酶活性仅与土壤铵态氮含量显著相关，这主要是因为土壤酶活性受诸多因素影响，有关硝酸还原酶活性与氮素形态的相关性尚需进一步研究。

4 结论

与长期不施肥和单施化肥相比，用不同有机物料氮替代部分无机氮对土壤不同形态氮素含量和酶活性均具有积极促进作用。其中，采用 33.33% 生物有机肥替代无机氮肥（FB 处理）土壤全氮、铵态氮、硝态氮和微生物生物量氮含量及脲酶、硝酸还原酶和荧光素二乙酸酯水解酶活性均最高。这表明，在陇东旱塬黑垆土农业区实现有机替代的最佳有机物料为生物有机肥。

参考文献：

[1] 王红茹. 化肥污染与防治 [J]. 内蒙古环境科学，2009，21（2）：15－17.

[2] 房丽萍，孟军. 化肥施用对中国粮食产量的贡献率分析—基于主成分回归 C—D 生产函数模型的实证研究 [J]. 中国农学通报，2013，29（17）：156－160.

[3] Kraft G J，Stites W，Mechenich D J. Impacts of irrigated vegetable agriculture on a humid north－central U. S. sand plain aquifer [J]. Ground Water，1999，37（4）：572－580.

[4] 董章杭，李季，孙丽梅. 集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究—以“中国蔬菜之乡”山东省寿光市为例 [J]. 农业环境科学学报，2005，24（6）：1139－1144.

[5] 李明哲. 农田化肥施用污染现状与对策 [J]. 河北农业科学，2009，13（5）：65－67.

[6] 贾伟，周怀平，解文艳，等. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报，2008，14（4）：700－705.

[7] 葛高飞，梁永超. 玉米生长过程中施肥对土壤呼吸和微生物量碳的影响 [J]. 中国农学通报，2011，27（18）：73－78.

[8] 李娟，赵秉强，李秀英，等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学，2008，41（1）：144－152.

[9] Solomonson L P，Spehar A M. Model for the regulation of nitrate assimilation [J]. Nature，1977，265：373－375.

[10] Nsabimana D，Haynes R J，Wallis F M. Size activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use [J]. Applied Soil Ecology，2004，26：81－92.

[11] Zhang J B，Zhu T B，Cai Z C，et al. Effects of long－term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations [J]. European Journal of Soil Science，2012，63（1）：75－85.

[12] Bittman S，Forge T A，Kowalenko C G. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi－year applications of dairy manure slurry and fertilizer [J]. Soil Biology & Biochemistry，2005，37（4）：613－623.

[13] Cheng Y，Wang J，Mary B，et al. Soil pH has contrasting effects on gross and net nitrogen mineralizations in adjacent forest

and grassland soils in central Alberta, Canada [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 57: 848 - 857.

[14] Ste - Marie C, Pare D. Soil, pH and N availability effects on net nitrification in the forest floors of a range of boreal forest stands [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31 (11): 1579 - 1589.

[15] Müller C, Stevens R J, Laughlin R J. Evidence of carbon stimulated N transformations in grassland soil after slurry application [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35 (2): 285 - 293.

[16] Böhme L, Langer U, Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long - term field experiments [J]. Agriculture Ecosystems Environment, 2005, 109 (1/2): 141 - 152.

[17] 樊军, 郝明德. 长期轮作施肥对土壤微生物碳氮的影响 [J]. 水土保持研究, 2003, 10 (1): 85 - 87.

[18] 程万莉, 刘星, 高怡安, 等. 有机物料氮替代部分化肥对马铃薯根际土壤微生物群落功能多样性的影响 [J]. 土壤通报, 2015, 46 (6): 1459 - 1465.

[19] 高瑞, 吕家珑. 长期定位施肥土壤酶活性及其肥力变化研究 [J]. 中国生态农业学报, 2005, 13 (1): 143 - 145.

[20] 程东娟, 刘树庆, 王殿武, 等. 长期定位培肥对土壤酶活性及土壤养分动态变化的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2003, 26 (3): 33 - 36.

[21] 焦晓光, 隋跃宇, 张兴义. 土壤有机质含量与土壤酶活性关系的研究 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24 (4): 494 - 496.

[22] Eivazi F. Urease activity in soils subjected to flooding and its effect on nitrogen uptake by corn and wheat [J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21 (4): 699 - 705.

[23] 马星竹. 长期施肥土壤的 FDA 水解酶活性 [J]. 浙江大学学报（农业与生命科学版）, 2010, 36 (4): 451 - 455.

[24] 岳中辉, 张兴义, 许景刚, 等. 黑土硝酸还原酶活性的分布特征 [J]. 东北农业大学学报, 2007, 38 (6): 767 - 770.

[25] Patron W J, Mosier A R, Ojima D S, et al. Generalized model for N_2 and O_2 production from nitrification and denitrification [J]. Global Biogeochemical Cycle, 1996, 10 (3): 401 - 412.

Characters of soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under isonitrogenous organic material nitrogen partly replacing to chemical nitrogen

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

Abstract: This research aims to compare the characters of soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism when different organic material nitrogen partly replacing chemical nitrogen. A successive 12-year field test was conducted in loessial soil-covered areas in eastern Gansu province of the Loess Plateau, and the effects of 3 kinds of organic materials (including bio-organic fertilizer, farmyard manure and wheat straw) on soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism of continuously-cropped winter wheat were investigated. The results showed that: compared with chemical fertilizer, all 3 organic material nitrogen partly replacing chemical nitrogen exerted positive effects on soil nitrogen contents and enzymes activity involved in nitrogen metabolism, especially under treatment of bio-organic fertilizer, all forms of soil nitrogen contents and enzymes activity were the highest. Ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, SMN contents, and urease, FDA hydrolase activities were higher in the upper soil than the lower layer except nitrate reductase. Therefore, bio-organic fertilizer will be recommend the first-choice among bio-materials for partly replacing chemical fertilizers in rain-fed agricultural areas of eastern Gansu province.

Key words: isonitrogenous; long-term organic material nitrogen partly replacing to chemical nitrogen; nitrogen forms; enzyme activities