

秸秆还田与氮肥运筹对农田土壤可溶性氮组分的影响

隽英华*, 何志刚, 刘慧屿, 刘 艳, 陈 玥

(辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要: 为探究秸秆还田配施氮肥对农田土壤可溶性氮转化特征的影响, 研发东北冷凉区土壤氮素供应能力提高的秸秆还田技术, 采用田间连续定位试验, 对比分析了秸秆还田方式 (不还田、粉碎翻压还田、堆腐旋耕还田) 与氮肥运筹 (N 180、210、240 kg/hm²; 氮肥基施、氮肥后移) 作用下农田土壤无机氮 (IN)、可溶性有机氮 (DON) 及可溶性全氮 (DTN) 的动态变化。结果表明, 秸秆还田配施氮肥影响农田土壤可溶性氮组分含量, 其作用行为受秸秆还田方式、施氮模式和生育时期的多重制约。秸秆还田配施低量氮肥 (N 180 kg/hm²) 土壤 IN 和 DTN 均低于无秸秆处理, 而配施高量氮肥 (N 240 kg/hm²) 时高于无秸秆处理; 秸秆还田土壤 DON 于生育前期 (播种-拔节期) 较无秸秆处理显著增加, 而在生育中后期无规律性变化。随着施氮量增加, 秸秆还田土壤 IN 和 DTN 显著增加, 而 DON 仅于春玉米旺盛生长期 (拔节期-灌浆期) 显著增加。随着生育期推进, 除秸秆堆腐旋耕还田土壤 DON 呈三峰曲线变化外, 秸秆还田土壤 IN、DON 和 DTN 均呈双峰曲线变化, 且峰值越来越低。由此可见, 在东北农业产区, N 210 kg/hm² 用量下秸秆粉碎翻压还田配施 15% 氮肥的秸秆还田技术具有优化氮素管理、提高土壤肥力的潜力。

关键词: 秸秆还田; 施氮方式; 无机氮; 可溶性有机氮; 可溶性全氮

氮素是生态系统中重要的营养元素之一, 其存在形态与迁移转化和生态环境因素密不可分^[1]。土壤可溶性氮 (DN) 指能被水或盐溶液浸提出的氮, 包括无机氮 (IN) 和可溶性有机氮 (DON), 是土壤氮素中最活跃的组分^[2]; 由于其为溶解态, 很容易随着径流或淋溶流出土体, 产生一定的环境风险^[3-4]。研究发现, 农田土壤 DON 含量与矿质氮相当, 是土壤氮库中氮素流失的主要形态^[5]。因此, 土壤可溶性氮的研究越来越受到人们的关注^[6-9]。目前对于可溶性氮的研究主要集中在森林^[10-11]、草地^[6]、湿地及其他生态系统中^[12-13]。研究表明, 不同土壤类型、不同土地利用方式、不同管理措施对土壤可溶性氮组分特征及其转化规律有着较大影响^[5, 10, 14-17]; 然而, 东北冷凉地区秸秆还田与氮肥运筹对农田土壤可溶性氮转化过程的影响研究相对较少。

秸秆质量是影响秸秆还田后氮素转化的重要

因子, 作物秸秆碳氮比较高, 还田后腐解需配施一定量的氮肥, 否则容易造成对土壤氮素的固持而影响作物生长^[18]。大量研究表明, 秸秆还田配施氮肥可降低土壤碳氮比^[19], 有利于促进微生物增殖及分解更多有机质^[20], 提高土壤 DON 和矿质氮含量^[21], 进而提高土壤供氮能力。但也有研究表明, 受施肥影响, 来源于还田秸秆的轻组有机质分解速率变慢, 从而使土壤矿质氮含量降低^[22]。张忠学等^[8]研究认为, 秸秆还田配以施氮降低了表层土壤 DON 和 NH₄⁺-N 含量, NO₃⁻-N 含量变化行为因施氮水平而异, 但促进了表层土壤可溶性氮以较稳定的 DON 形态存在。由此可见, 如何将秸秆还田与氮肥施用有机结合, 维持土壤-作物体系的氮素投入和输出平衡, 更好地提高土壤肥力和供氮能力, 是目前东北冷凉区农业生产中值得研究的重要课题。为此, 研究春玉米秸秆还田配以氮肥运筹对土壤可溶性氮组分 (IN、DON、DTN) 含量的影响, 揭示秸秆还田与氮肥运筹作用下土壤可溶性氮组分的转化特征, 为东北冷凉区秸秆还田条件下氮素优化管理和高效节氮秸秆还田技术研发与应用提供理论依据。

收稿日期: 2023-03-20; 录用日期: 2023-05-09

基金项目: 沈阳市科技计划项目 (21-109-3-01)。

作者简介: 隽英华 (1979-), 博士, 研究员, 主要从事作物施肥与土壤氮素转化的生物化学调控研究。E-mail: juanyong_001@sohu.com。同时为通讯作者。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于辽宁省铁岭市调兵山市晓南镇 (42° 21' 30'' N, 123° 36' 12'' E), 属于中温带大陆性季风气候, 四季分明, 雨热同季, 日照充足,

昼夜温差大, 年均温度 7.0℃, 年均日照总数为 2700 h, 4—9 月有效日照总数 1700 h, 年均降水量 500 ~ 600 mm, 无霜期 148 d, ≥ 10℃有效积温 3200℃。供试土壤为中等肥力棕壤, 试验前采集 0 ~ 20 cm 土样测定基础理化性质^[23], 结果见表 1。

表 1 供试土壤理化性质

土壤类型	pH	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)
棕壤	5.30	16.42	1.15	0.45	20.10	86.16	18.94	129.00

1.2 试验设计及采样

田间试验采用裂区设计, 主区为秸秆还田方式 [不还田、粉碎翻压还田 (始于 2017 年)、堆腐旋耕还田 (始于 2019 年)], 副区为氮肥用量 (N 180、210、240 kg/hm²); 所有处理磷 (P₂O₅)、钾 (K₂O) 肥用量相同, 均为 90 kg/hm²。田间试验共设置 8 个处理: ①秸秆不还田 (对照, N 210 kg/hm², N14); ②秸秆粉碎翻压还田 (N 180 kg/hm², SN12); ③秸秆粉碎翻压还田 (N 210 kg/hm², SN14); ④秸秆粉碎翻压还田 (N 240 kg/hm², SN16); ⑤秸秆粉碎翻压还田 (N 210 kg/hm², 其中 N 30 kg/hm² 后移至秋季秸秆还田时施用, SN14HY); ⑥秸秆堆腐旋耕还田 (N 180 kg/hm², DSN12); ⑦秸秆堆腐旋耕还田 (N 210 kg/hm², DSN14); ⑧秸秆堆腐旋耕还田 (N 240 kg/hm², DSN16)。小区面积 36 m² (10 m × 3.6 m), 每个处理 3 次重复, 随机区组排列。

秸秆粉碎翻压还田, 玉米收获后全部秸秆粉碎 (5 ~ 6 cm) 并均匀抛撒于田间覆盖地表, 基于土壤墒情秋季择时选用液压旋转犁进行深翻作业 (深度为 30 ~ 35 cm), 春季播种前选用液压旋耕机进行浅旋作业 (深度 10 ~ 12 cm), 起垄镇压 (垄距 60 cm)。秸秆堆腐旋耕还田, 玉米收获时顺便将粉碎秸秆 (8 ~ 15 cm) 通过运输车置于田间地头, 堆之成垛 (堆高 ≥ 80 cm), 喷洒质量比约 5‰的具有知识产权的耐低温秸秆腐解菌剂进行秸秆发酵, 开春时适时进行翻垛, 播种前利用机械均匀撒至地表, 并选用液压旋耕机进行浅旋作业 (深度 10 ~ 12 cm), 起垄镇压 (垄距 60 cm)。

供试肥料以复合肥为主, 差额养分配以单质肥料 [尿素 (N 46%)、磷酸二铵 (N 18%, P₂O₅

46%)、氯化钾 (K₂O 60%)] 补充, 除 SN14HY 处理秋季秸秆粉碎还田时后移施 N 30 kg/hm², 其余处理所有肥料于播种时一次性施入。供试玉米品种为铁研 58, 种植模式为人工垄播, 行距 60 cm, 株距 28 cm, 种植密度约 60000 株/hm²。每年 4 月下旬至 5 月上旬播种, 9 月下旬至 10 月上旬收获; 2021 年 4 月 25 日播种, 10 月 7 日收获; 其余田间管理方式均一致, 并与当地农时习惯相符。

土壤样品采集于 2021 年, 自 4 月 25 日播种开始, 每隔 15 d 利用土钻采集 0 ~ 20 cm 土层样品, 每小区随机采取 5 点, 并混匀为 1 个土样, 去除土壤中植物残体等杂质, 置于自封袋中带回实验室, 测定土壤可溶性氮组分。

1.3 测定指标及其方法^[23]

无机氮 (IN, NO₃⁻-N + NH₄⁺-N) 采用 2 mol/L KCl 溶液浸提, 连续流动分析仪 (AA3, 德国布朗卢比公司) 测定; 可溶性全氮 (DTN) 采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定; 可溶性有机氮 (DON) = DTN - IN。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2022 进行处理, 采用 SPSS 19.0 进行统计分析, 采用 Duncan's 法进行多重比较; 数值采用平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

多因素方差分析表明, 除氮肥运筹对 IN 和 DTN 影响显著外, 氮肥运筹对农田土壤 DON 和秸秆还田及秸秆还田 × 氮肥运筹交互作用对 IN、DON 和 DTN 含量的影响均没有达到显著水平 (表 2)。

表 2 秸秆还田方式和氮肥运筹对农田土壤可溶性氮组分含量影响的双因素方差分析

因子	IN		DON		DTN	
	F	P	F	P	F	P
秸秆还田	2.200	0.114	1.383	0.253	1.856	0.158
氮肥运筹	3.868	0.027*	1.144	0.321	3.674	0.032*
秸秆还田 × 氮肥运筹	0.247	0.782	0.006	0.994	0.084	0.919

注: * 代表 $P<0.05$ 。

2.1 秸秆还田与氮肥运筹对土壤无机氮的影响

秸秆还田和氮肥运筹对农田土壤 IN 影响显著 ($P<0.05$), 其含量为 4.62 ~ 38.11 mg/kg (图 1)。与秸秆不还田 (N14) 相比, 秸秆还田处理土壤 IN

变化行为受秸秆还田方式和施氮模式的协同制约; SN12、SN14 和 DSN12 均降低, SN16、SN14HY 和 DSN14 分别在 7 月 24 日、5 月 25 日和 7 月 9 日前降低, 在其后升高, DSN16 在 7 月 9 日前呈波动式变化, 7 月 9 日后升高。随着施氮水平增加, 秸秆还田处理土壤 IN 显著增加, 以施 N 240 kg/hm² 最高。随着生育时期推进, 秸秆还田处理土壤 IN 呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在 5 月 10 日—5 月 25 日和 9 月 7 日—9 月 22 日, 峰谷出现在 7 月 24 日—8 月 8 日; 秸秆粉碎翻压还田模式下以 SN14HY 处理 5 月 10 日最高 (27.83 mg/kg), 秸秆堆腐旋耕还田模式下以 DSN16 处理 5 月 25 日最高 (38.11 mg/kg)。与 SN14 相比, 除 8 月 8 日显著降低外, SN14HY 处理土壤 IN 显著增加, 增加幅度为 1.88% ~ 39.82%。

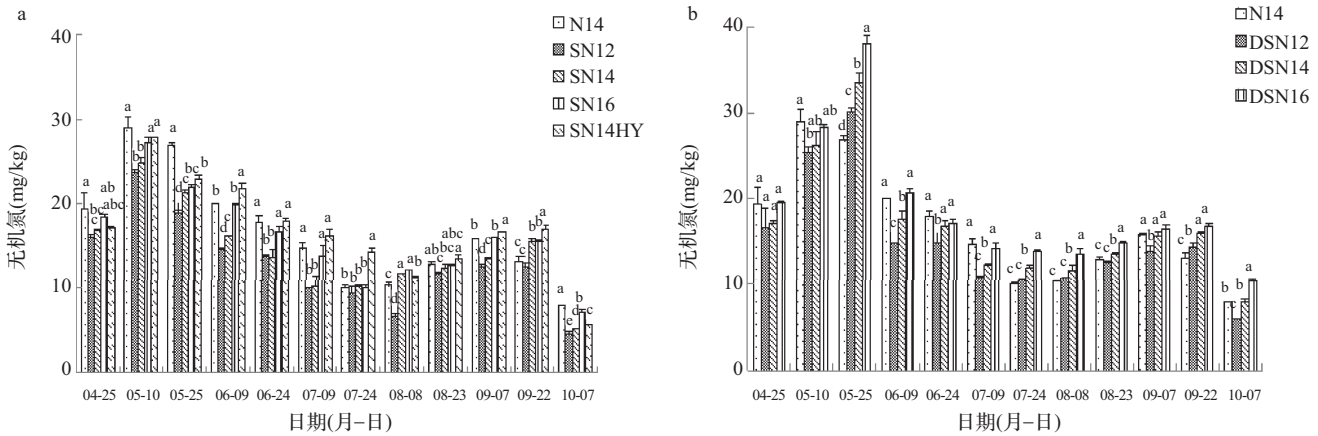


图 1 秸秆还田与氮肥运筹对土壤无机氮的影响

注: 图 a 为秸秆粉碎翻压还田, 图 b 为秸秆堆腐旋耕还田; 不同小写字母表示同一日期不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 秸秆还田与氮肥运筹对土壤可溶性有机氮的影响

秸秆还田和氮肥运筹对农田土壤 DON 影响显著 ($P<0.05$), 其作用程度因秸秆还田方式和施氮模式而异 (图 2)。与秸秆不还田 (N14) 相比, 除 SN12 和秸秆堆腐旋耕还田 5 月 25 日外, 秸秆还田处理土壤 DON 在生育前期 (4 月 25 日—7 月 9 日) 显著增加, 在生育中后期 (7 月 24 日—10 月 7 日) 无规律性变化。随着施氮水平增加, 秸秆还田处理土壤 DON 变化受生育时期和秸秆还田方式的协同影响; 秸秆粉碎翻压还田模式下 5 月 10 日、6 月 9 日、6 月 24 日、7 月 9 日、7 月 24 日、8 月 23 日和 9 月 7 月显著升高, 9 月 22 日先降低后升

高, 其余时期无显著性变化; 秸秆堆腐旋耕还田模式下 5 月 10 日、6 月 24 日、8 月 8 日和 8 月 23 日显著升高, 10 月 7 日显著降低, 其余时期无显著性变化。随着生育时期推进, 秸秆粉碎翻压还田处理土壤 DON 呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在 5 月 25 日和 9 月 7 日, 且以 5 月 25 日的峰值最高, 峰谷出现在 8 月 8 日; 秸秆堆腐旋耕还田处理土壤 DON 呈三峰曲线变化, 峰值分别出现在 4 月 25 日、6 月 9 日和 9 月 7 日, 且以 4 月 25 日的峰值最高, 其次为 6 月 9 日, 峰谷出现在 5 月 25 日和 8 月 8 日。与 SN14 相比, 除 6 月 9 日、7 月 24 日显著降低和 10 月 7 日显著增加外, SN14HY 处理土壤 DON 无显著性变化。

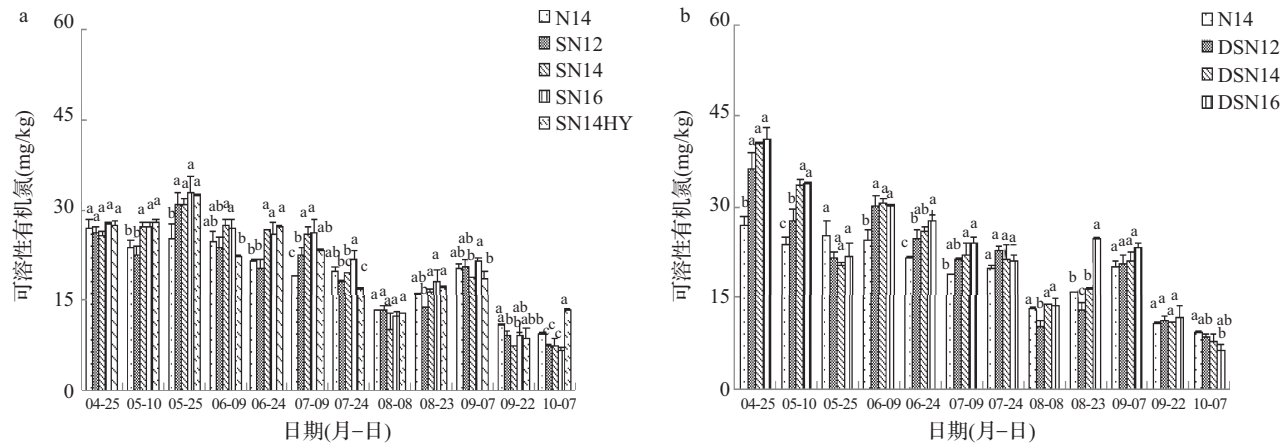


图2 秸秆还田与氮肥运筹对土壤可溶性有机氮的影响

注：图a为秸秆粉碎翻压还田，图b为秸秆堆腐旋耕还田。

2.3 秸秆还田与氮肥运筹对土壤可溶性全氮的影响

秸秆还田和氮肥运筹对农田土壤DTN影响显著 ($P<0.05$)，其含量为12.14 ~ 61.32 mg/kg (图3)。与秸秆不还田(N14)相比，秸秆还田处理土壤DTN变化受秸秆还田方式、施氮模式和生育时期的多重制约；秸秆粉碎翻压还田模式下，SN12显著降低，SN16和SN14HY显著增加，SN14无规律性变化；秸秆堆腐旋耕还田模式下，DSN12除4月25日和7月24日显著增加、8月23日和10月7日显著降低外，其余时期无显著性变化，DSN14除4月25日、5月10日、7月24日、8月8日和9月22日显著增加外，其余时期无显著性变化，DSN16除9月7日和10月7日无显著变化外，其余时期均显著增

加；说明秸秆还田配以高量氮肥更能提高土壤DTN含量。随着施氮水平增加，除秸秆粉碎翻压还田5月25日和秸秆堆腐旋耕还田7月24日和9月22日无显著变化外，秸秆还田处理土壤DTN显著增加。随着生育时期推进，秸秆还田处理土壤DTN呈双峰曲线变化，且峰值越来越低，但峰值时间因还田方式而异；秸秆粉碎翻压还田在5月25日和9月7日，秸秆堆腐旋耕还田在5月10日和9月7日；说明秸秆堆腐旋耕还田提前10~15 d使土壤DTN达到高值。与秸秆粉碎翻压还田相比，秸秆堆腐旋耕还田土壤DTN首峰增加幅度为6.65%~14.48%。与SN14相比，除5月10日、6月24日、7月9日、9月22日和10月7日显著升高外，SN14HY处理土壤DTN无显著性变化。

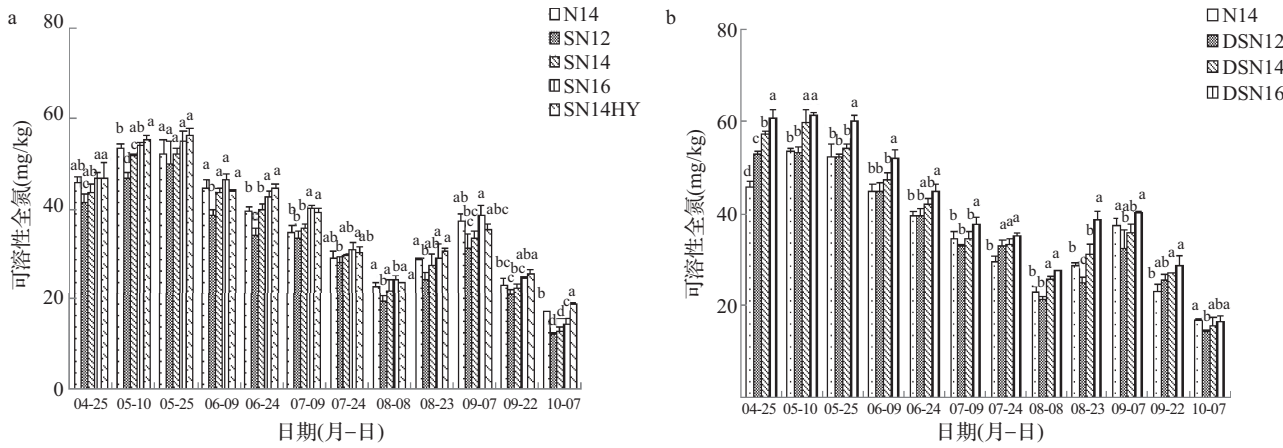
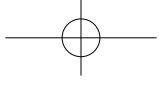


图3 秸秆还田与氮肥运筹对土壤可溶性全氮的影响

注：图a为秸秆粉碎翻压还田，图b为秸秆堆腐旋耕还田。



2.4 秸秆还田与氮肥运筹对土壤可溶性氮组分分配比例的影响

秸秆还田和氮肥运筹对农田土壤可溶性氮组分分配比例影响显著 ($P<0.05$), 其变化受生育时期的协同制约 (图 4)。秸秆不还田处理 (N14) 土壤 DON 分配比例在整个生育时期与 IN 大致相当。苗期 SN12、SN14、SN16 和 SN14HY 处理土壤 DON 分配比例大于 IN, 这与 DSN12、DSN14 和 DSN16 正好相反; 拔节期秸秆还田处理土壤 DON 分配

比例较 IN 增加, 其幅度为 44.48% ~ 159.07%; 大喇叭口期除 SN12 处理 DON>IN 外, 秸秆还田处理土壤 DON 分配比例与 IN 大致相当; 收获期 SN12、SN14、SN14HY 和 DSN12 处理土壤 DON 分配比例大于 IN, 这与 DSN16 正好相反, 而 SN16 和 DSN14 则大致相当。说明秸秆粉碎翻压还田更易提高生育前期 DON 分配比例, 秸秆堆腐旋耕还田则更易提高生育前期 IN 分配比例。

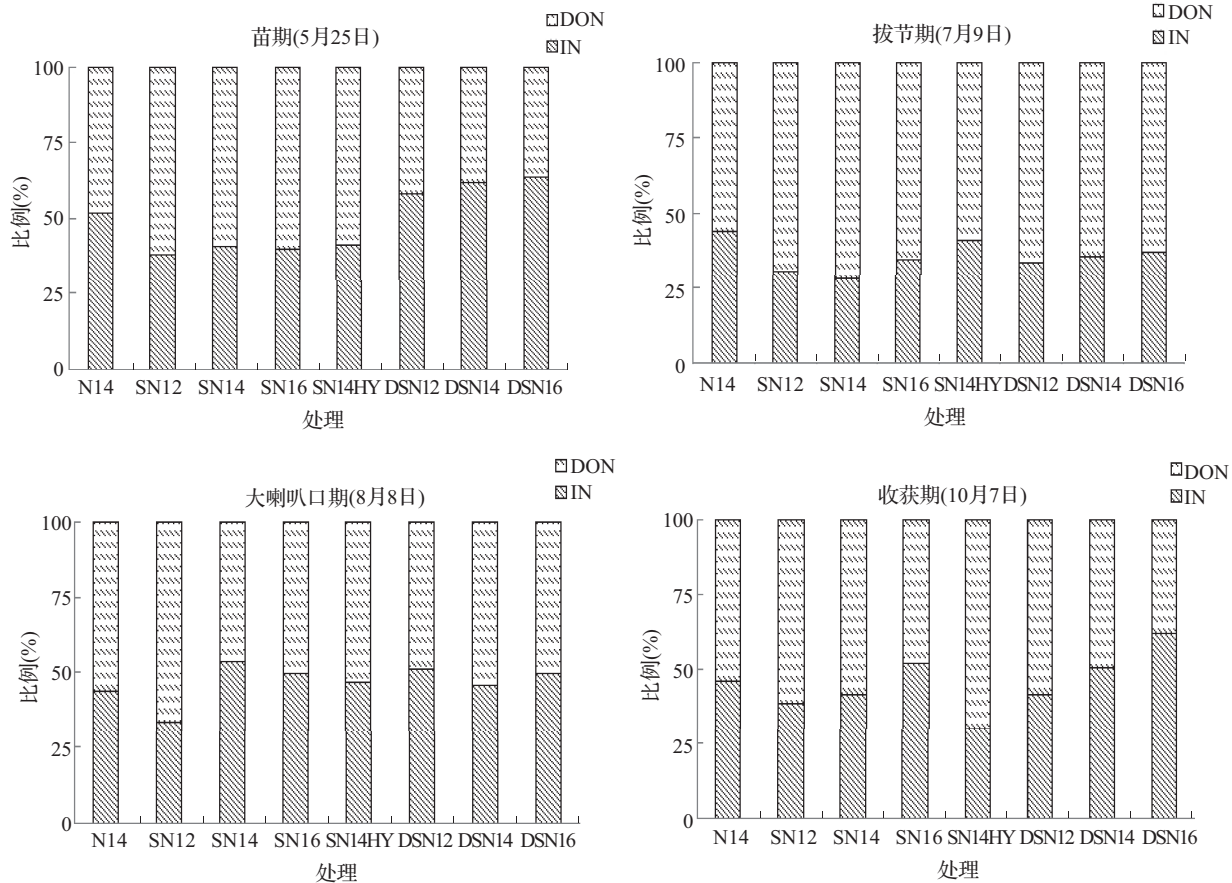


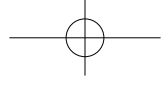
图 4 秸秆还田与氮肥运筹对土壤可溶性氮组分分配比例的影响

3 讨论

3.1 秸秆还田与氮肥运筹对土壤可溶性氮组分的影响

氮矿化过程是有效态氮转化的起始过程, 这对于土壤氮素迁移和转化乃至整个生态系统的氮素循环均至关重要^[1]。自然界土壤中, 绝大多数的氮素不能被作物直接吸收利用, 而可溶性氮素作为土壤氮素中最活跃的组分, 既可以直接被作物吸收利用, 也可以被微生物同化为无效态氮^[24-25]。本

研究表明, 秸秆还田配施低量氮肥处理土壤 IN 和 DTN 均低于无秸秆处理, 而配施高量氮肥时总体上高于无秸秆处理, 且随着施氮量增加均显著增加, 这与张忠学等^[8]的研究结论一致。这可能是由于玉米秸秆碳氮比较高, 还田会导致土壤微生物可利用的碳源增加, 但土壤中没有足够的氮源供微生物利用, 秸秆腐解过程中会争夺部分土壤活性氮素, 导致配施低量氮肥时土壤 IN 和 DTN 含量降低, 而当施氮量达到一定水平时这种争氮现象会减弱; 秸秆还田配施高量氮肥进一步优化土壤碳氮比, 有利



于提高微生物活性,促进秸秆腐解并释放有效养分;此外,外源碳、氮的同时添加对土壤原有有机质矿化表现出正激发叠加效应,进而提高土壤氮素供应能力^[26-29]。土壤 DON 是微生物氮素的重要来源,一些小分子量 DON (如游离氨基酸等)可以直接被作物吸收利用^[30]。本研究表明,秸秆还田处理土壤 DON 含量在生育前期(4月25日—7月9日)较无秸秆处理显著增加,而在生育中后期无规律性变化;且随着施氮量增加于春玉米旺盛生长期(拔节期—灌浆期)显著增加。这可能是一方面,秸秆降解前期易分解的可溶性糖等有机物(多糖、有机酸、氨基酸和无机养分)占比较高,易被微生物分解,释放较多、较快,后期难降解的物质(如木质素等)残留下来,分解速率逐渐变缓^[31];另一方面,春玉米旺盛生长期气温高、降水量大,水热条件有利于提高微生物活性,促进秸秆降解^[32]。此外,由于秸秆中氮含量较低,释放速率相对较慢^[33],因此,秸秆还田配施适量氮肥是有必要的。

研究表明,随着生育时期推进,除秸秆堆腐旋耕还田模式下 DON 呈三峰曲线变化外,秸秆还田处理土壤 IN、DON 和 DTN 均呈双峰曲线变化,峰值出现在5月10日—5月25日和9月7日—9月22日,且峰值越来越低。这是因为,一方面,秸秆与氮肥配施还田前期,土壤中可利用的能源物质增加,增加土壤微生物对碳、氮的固持与矿化,促进耕层土壤碳、氮的累积^[28, 34],随着秸秆的进一步腐解,可利用的能源物质逐渐减少,微生物生长逐渐衰退,降低了土壤有效氮素的持续性供给^[35-36];另一方面,作物生育前期(苗期—拔节期)生长缓慢,对土壤有效养分的吸收累积量较少,随着生育期推进,作物进入旺盛生长期(拔节期—灌浆期),对土壤有效养分的吸收累积量迅速增加;进入生育后期(灌浆期—成熟期),作物体内的养分主要进行转运分配,养分累积量趋于平稳,导致作物对土壤养分的吸收又减缓^[37-39]。与秸秆粉碎翻压还田相比,秸秆堆腐旋耕还田处理土壤 DON 于播种前期(4月25日)多出现一个累积峰,这是因为秸秆堆腐加速了秸秆腐解,促进更多秸秆降解为小分子有机质,且春季还田后旋耕主要是将秸秆混合于表层土壤,温度高、通气性好,进一步加快了秸秆降解,使土壤微生物所需的物质和能源增加,极大地促进了微生物活性,同化进程加强,从而使土壤 DON 增多^[40]。

3.2 秸秆还田与氮肥运筹对土壤氮素供应能力的影响

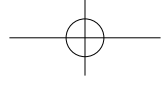
氮肥运筹和调控直接决定还田秸秆的分解和养分释放速率^[29]。大量研究表明,秸秆不还田保证氮肥总量不变的前提下,通过氮肥后移,调整基追比例,增加作物生育中后期氮肥用量,可协调作物整个生育期对氮素的需求,优化氮素供应。然而,秸秆还田条件下,一方面考虑作物生育前期秸秆腐解对部分土壤氮素的争夺;另一方面随着秸秆的逐步分解,秸秆养分逐渐释放并可以被作物吸收利用,即秸秆可以作为作物后期生长所需的氮源^[41]。本研究表明,在保证氮肥总量不变的前提下,秸秆粉碎还田配施氮肥后移(SN14HY处理),耕层土壤 IN 显著增加,这与高日平等^[18]的研究结果一致。通过将部分氮肥后移至与秸秆还田同时施入,后期氮素供应增多,增强了微生物代谢活性,土壤有机碳、氮的正激发效应增强,有利于促进秸秆腐解和养分转化,优化氮素供应。但对于秸秆还田配施氮肥作用下土壤可溶性氮素的迁移、损失与生态风险评价,以及秸秆还田腐解的最优碳氮比仍需试验探究。

4 结论

农田土壤可溶性氮组分含量及其变化行为受秸秆还田方式、施氮模式和生育时期的协同影响。秸秆还田配施适量氮肥能够显著提高土壤 IN 和 DTN 含量,提高土壤氮素供应能力。秸秆还田土壤 IN 和 DTN 含量随着施氮量增加显著增加,而 DON 的正向响应仅发生于春玉米拔节期—灌浆期。秸秆还田配施氮肥土壤 IN、DON 和 DTN 含量随着生育时期推进均呈波浪式变化,且峰值含量逐渐降低。综合考虑秸秆还田方式、可溶性氮转化特征、氮肥运筹等因子,在本试验条件下,N 210 kg/hm²用量下秸秆粉碎翻压还田配施 15%氮肥的秸秆还田技术可以提高土壤氮素供应能力,对于促进东北冷凉区高效节氮秸秆还田技术的研发与应用具有重要意义。

参考文献:

- [1] 寇恒. 土壤氮素及其研究方法综述[J]. 亚热带水土保持, 2018, 30(2): 64-67, 70.
- [2] Willett V B, Green J J, Macdonald A J, et al. Impact of land use on soluble organic nitrogen in soil[J]. Water, Air and Soil



- Pollution, 2004, 4: 53–60.
- [3] Hua K K, Zhu B. Dissolved organic nitrogen fluxes and crop yield after long-term crop straw incorporation [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2018, 112: 133–146.
- [4] Nie S A, Zhao L X, Lei X M, et al. Dissolved organic nitrogen distribution in differently fertilized paddy soil profiles: Implications for its potential loss [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2018, 262: 58–64.
- [5] 孔祥忠, 于红梅, 束良佐, 等. 农田利用方式对土壤可溶性氮素含量及迁移的影响 [J]. 土壤通报, 2015, 46 (6): 1359–1365.
- [6] Lusk M G, Toor G S, Inglett P W. Characterization of dissolved organic nitrogen in leachate from a newly established and fertilized turfgrass [J]. Water Research, 2018, 131: 52–61.
- [7] Wang L Y, Zheng X L, Tian F F, et al. Soluble organic nitrogen cycling in soils after application of chemical organic amendments and groundwater pollution implications [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2018, 217: 43–51.
- [8] 张忠学, 李铁成, 齐智娟, 等. 控制灌溉下秸秆还田对稻田土壤氮素组成的影响 [J]. 农业机械学报, 2019, 50 (11): 229–238.
- [9] 杨静, 郭文圻, 杨文浩, 等. 紫云英翻压还田后稻田土壤可溶性有机氮迁移特性与损失风险 [J]. 土壤学报, 2022, 59 (3): 786–796.
- [10] 王洁, 杨曦, 朱兆洲, 等. 青藏高原土壤可溶性氮组成特征 [J]. 生态学杂志, 2015, 34 (6): 1660–1666.
- [11] 肖好燕, 刘宝, 余再鹏, 等. 亚热带典型林分对表层和深层土壤可溶性有机碳、氮的影响 [J]. 应用生态学报, 2016, 27 (4): 1031–1038.
- [12] 周碧青, 陈成榕, 张黎明, 等. 亚热带不同果园土壤可溶性有机氮季节动态及其影响因素 [J]. 农业环境科学学报, 2016, 35 (9): 1735–1741.
- [13] Yusuf S, Audu A A, Wazir M. Comparative assessment of the environmental dynamics of dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic phosphorus (DOP) from three wetlands in Northern Nigeria [J]. Nigerian Journal of Basic and Applied Science, 2017, 25: 151–162.
- [14] 吕学军, 刘庆, 陈印平, 等. 黄河三角洲土地种植模式对土壤可溶性有机碳、氮的影响 [J]. 农业现代化研究, 2011, 32 (4): 505–508.
- [15] 牛颖权, 李军, 杨曦, 等. 天津盐渍化土壤水溶性氮素组成及分布特征 [J]. 地球与环境, 2016, 44 (2): 169–176.
- [16] 胡岗, 刘桂华, 范成五, 等. 控氮对黄壤坡耕地小麦–玉米轮作土壤氮素分布特征的影响 [J]. 西南农业学报, 2018, 31 (10): 2146–2151.
- [17] 杨成, 孟凡非, 彭艳, 等. 种植模式对喀斯特山地农田土壤可溶性有机氮含量、组分及迁移的影响 [J]. 生态学杂志, 2019, 38 (10): 3033–3041.
- [18] 高日平, 赵沛义, 韩云飞, 等. 秸秆还田与氮肥运筹对土壤水碳氮耦合及作物产量的影响 [J]. 土壤, 2021, 53 (5): 952–960.
- [19] 赵亚丽, 于淑婷, 穆心愿, 等. 深耕加秸秆还田下施氮量对土壤碳氮比、玉米产量及氮效率的影响 [J]. 河南农业科学, 2016, 45 (10): 50–54.
- [20] Bennett A E, Grussu D, Kam J, et al. Plant lignin content altered by soil microbial community [J]. New phytologist, 2015, 206 (1): 166–174.
- [21] 段鹏鹏, 张玉玲, 丛耀辉, 等. 氮肥与有机肥配施协调土壤固定态铵与可溶性氮的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (6): 1578–1585.
- [22] Li X G, Jia B, Lv J T, et al. Nitrogen fertilization decreases the decomposition of soil organic matter and plant residues in planted soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2017, 112: 47–55.
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [24] Murphy D V, Macdonald A J, Stockdale E A, et al. Soluble organic nitrogen in agricultural soil [J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 30 (5/6): 374–387.
- [25] Groffmann P M, Zak D R, Christensen S, et al. Early spring nitrogen dynamics in a temperate forest landscape [J]. Ecology, 1993, 73: 1579–1585.
- [26] 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等. 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33 (17): 5210–5218.
- [27] 田玉强, 陈颖, 欧阳胜男, 等. 外源性碳氮添加对北方半干旱草原土壤有机质矿化的影响 [J]. 生态环境学报, 2020, 29 (6): 1101–1108.
- [28] 庞荔丹, 孟婷婷, 张宇飞, 等. 玉米秸秆配氮还田对土壤酶活性、微生物量碳含量及土壤呼吸量的影响 [J]. 作物杂志, 2017 (1): 107–112.
- [29] 侯贤清, 李荣, 吴鹏年, 等. 秸秆还田配施氮肥对土壤碳氮含量于玉米生长的影响 [J]. 农业机械学报, 2018, 49 (9): 238–246.
- [30] 杨静. 水稻生育期不同施肥处理土壤可溶性有机氮成分动态及其迁移规律 [D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [31] 赵金花, 陈林, 段衍, 等. 秸秆还田配施化肥减施对潮土作物产量及土壤肥力的影响 [J]. 土壤学报, 2023, 60 (1): 189–200.
- [32] 吴宪, 张婷, 王蕊, 等. 化肥减量配施有机肥和秸秆对华北潮土团聚体分布及稳定性的影响 [J]. 生态环境学报, 2020, 29 (5): 933–941.
- [33] 李慧敏, 田胜营, 李丹丹, 等. 有机物料施用对潮土活性有机碳及微生物群落组成的影响 [J]. 土壤学报, 2021, 58 (3): 777–787.
- [34] Zhang J S, Zhang F P, Yang J H, et al. Emissions of N₂O and NH₃, and nitrogen leaching from direct seeded rice under different tillage practices in central China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2011, 140: 164–173.
- [35] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆

- 腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. 生态学报, 2013, 33 (2): 565-575.
- [36] 陈安强, 付斌, 鲁耀, 等. 有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮[J]. 农业工程学报, 2015, 31 (21): 160-167.
- [37] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (5): 622-627.
- [38] 隗英华, 汪仁, 孙文涛, 等. 施氮模式对春玉米养分累积特性的影响[J]. 核农学报, 2011, 25 (1): 143-148.
- [39] 侯云鹏, 孔丽丽, 杨建, 等. 氮肥运筹对春玉米产量、养分吸收和转运的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24 (4): 137-143.
- [40] Zhao S C, Qiu S J, Xu X P, et al. Change in straw decomposition rate and soil microbial community composition after straw addition in different long-term fertilization soils [J]. Applied Soil Ecology, 2019, 138: 123-133.
- [41] 张维乐, 戴志刚, 任涛, 等. 不同水旱轮作体系秸秆还田与氮肥运筹对作物产量及养分吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49 (7): 1254-1266.

Effects of straw returning and nitrogen application management on dissolved nitrogen components in farmland soil

JUAN Ying-hua*, HE Zhi-gang, LIU Hui-yu, LIU Yan, CHEN Yue (Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang Liaoning 110161)

Abstract: In order to understand the effects of straw returning and nitrogen (N) application management on dissolved N transformation characteristics in farmland soil, and to study the straw-returning technology with improving soil N supply capacity for Northeast cold area of China, with a continuous in situ-field experiment, the dynamics of inorganic N (IN), dissolved organic N (DON) and dissolved total N (DTN) affected by different straw returning methods (no straw-returning, crushed straw-returning ploughing, decomposed straw-returning rotary tillage) and N application management (N 180, 210, 240 kg/hm²; one-time N application, postponing N application) were investigated. The results showed that, the straw-returning with N application affected soil dissolved N components content, and its behavior was simultaneously affected by straw-returning methods, N application models and growing stages. Compared with no straw returning, the IN and DTN in soil treated with straw returning with low N application rate (N 180 kg/hm²) both decreased, however, increased in soil treated with straw returning with high N application rate (N 240 kg/hm²); DON in the straw returning treated soil increased significantly during the early growth stages (sowing stage to jointing stage), and changed with no rule during later growth stages. With the increasing of N application rate, IN and DTN in soil treated with straw returning both increased significantly, however, DON increased significantly only during spring maize exuberant growing period (jointing stage to filling stage). With maize growing, IN, DON and DTN for the straw-returning treated soil all showed a double-peak curve with decreasing peak value, except for the three-peak curve of DON in the decomposed straw-returning rotary tillage soil. Overall, the technology of crushed straw-returning ploughing with 15% N fertilizer at the rate of N 210 kg/hm² had the potential to improve N management and enhance soil fertility in the agricultural producing areas of Northeast China.

Key words: straw returning; nitrogen application; inorganic nitrogen; dissolved organic nitrogen; dissolved total nitrogen