doi：10.11838/sfsc.1673-6257.22041

不同施氮水平下秸秆还田对农田黑土养分及活性有机碳的影响

刘必东[1]，陈一民[2]，隋跃宇[2]，焦晓光[1*]

（1. 黑龙江大学现代农业与生态环境学院，黑龙江　哈尔滨　150080；
2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所，黑龙江　哈尔滨　150081）

摘　要：为揭示不同施氮水平下秸秆深埋还田配施菌剂对农田黑土养分与活性有机碳的影响及调控机制，以农田黑土为研究对象，采用裂区试验设计，设置无秸秆还田、秸秆深埋还田配施菌剂为主因素，4 个施氮水平（N）：0、135、180、225 kg/hm^2 为副因素，测定农田黑土有机碳、全氮、全磷及可溶性有机碳、易氧化有机碳、轻组有机碳、颗粒有机碳含量的变化。研究表明，在不同施氮水平下，秸秆深埋还田配施菌剂增加了土壤有机碳、全磷、轻组有机碳、易氧化有机碳和可溶性有机碳含量，增幅分别为 0.61% ~ 1.55%、2.39% ~ 4.55%、2.85% ~ 45.31%、2.23% ~ 4.08% 和 46.42% ~ 88.63%，降低了全氮含量，降幅为 3.74% ~ 9.55%。在无秸秆还田中，施氮处理与不施氮处理相比，土壤有机碳、全氮、全磷、可溶性有机碳含量增幅分别为 2.26% ~ 8.77%、1.65% ~ 3.30%、14.09% ~ 25.00%、4.84% ~ 21.88%；土壤易氧化有机碳含量降低幅度为 5.26% ~ 8.83%。在秸秆深埋还田配施菌剂条件下，施氮处理与不施氮处理相比土壤总碳和全磷含量幅度分别为 1.32% ~ 3.79%、11.74% ~ 24.35%；土壤轻组有机碳和易氧化有机碳含量减幅分别为 12.74% ~ 21.78%、5.71% ~ 10.46%；土壤可溶性有机碳含量在 N 180 kg/hm^2 处理时增加了 57.02%。秸秆深埋还田配施菌剂结合适量氮肥能提高土壤活性有机碳组分含量，有效改善土壤养分的供给能力，配施过量氮肥效果反而不显著，其中秸秆深埋还田配施菌剂并施 N 180 kg/hm^2 处理效果最佳，有望成为黑土地区土壤培肥的实际有效方式。

关键词：秸秆还田；施氮水平；农田黑土；养分；活性有机碳

东北黑土是我国最肥沃的土壤之一，由于长期的不合理耕作，导致黑土的有机质含量逐年下降、土壤结构破坏、肥力退化等一系列问题[1]。利用秸秆中的碳源，采用秸秆还田的方式来增加土壤有机碳含量、改良土壤理化性质、培肥地力[2]已成为保护黑土地的重要措施。秸秆还田时加入腐解剂可提高秸秆利用率，马超等[3]试验发现，与秸秆还田相比，秸秆的促腐还田可以明显增加土壤活性有机碳、微生物生物量碳、可溶性有机碳和活性有机碳的含量。但是秸秆的碳氮比较高，分解时需要吸收一定的氮素[4]，从而与作物产生争氮现象，影响作物生长[5]，说明进一步研究氮肥施用量对秸秆还田效率有重大意义。国内学者李新华等[6]研究表明秸秆还田的不同模式可以提高土壤活性碳组分含量，艾孜古丽·木拉提等[7]研究表明不同施氮水平有利于耕层土壤有机碳及其组分的积累，而国外学者 Brown 等[8]对外源施氮影响土壤有机碳规律的研究结果却有较大分歧，国内外关于秸秆还田的研究也主要集中在土壤养分[9-10]、土壤酶活性[11]和土壤微生物数量[12]等领域，对黑土玉米耕作系统下，秸秆深埋还田配施菌剂和不同氮肥量对农田黑土养分及有机碳组分影响的系统性研究较少。因此，本试验以此为切入点，利用黑龙江大学呼兰校区秸秆还田试验为研究平台，以农田黑土为研究对象，研究不同施氮水平下秸秆深埋还田配施菌剂对农田黑土养分及有机碳组分含量的影响，从而揭示秸秆还田与施氮水平对土壤养分、有机碳组分含量的影响，旨在为增加土壤肥力、实现黑土的可持续发展提供理论依据[13]。

收稿日期：2022-01-21；**录用日期**：2022-05-13

基金项目：国家自然科学基金项目（42077081）；中国科学院战略性科技先导专项（XDA28070300）。

作者简介：刘必东（1997-），硕士研究生，主要从事土壤生态学方面的研究。E-mail：www960862680@qq.com。

通讯作者：焦晓光，E-mail：2004086@hlju.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 试验地情况

试验地位于黑龙江省哈尔滨市呼兰区（126° 34.8′ E，45° 54′ N），该区气候类型属于北温带大陆性季风气候，年均气温为 3.3 ℃，年均降水量为 500.4 mm，种植制度为玉米和大豆轮作，土壤类型为薄层黑土。试验前土壤有机碳 19.05 g/kg，全氮 1.79 g/kg，碱解氮 134 mg/kg，pH6.02。

1.2 试验设计

试验于 2015 年开始，玉米品种选用“丰禾 6 号”，种植密度为 60000 ~ 75000 株 /hm^2，每年秋收后将秸秆粉碎为 2 cm 的颗粒，按照 7500 kg/hm^2 进行还田，还田深度为 30 cm。试验采用裂区设计，每个试验小区面积为 24 m^2，无秸秆还田、秸秆深埋还田配施菌剂为主因素，施氮量水平为副因素，3 次重复。试验中施氮量设 4 个水平（N）：（0、135、180、225 kg/hm^2）；磷肥施用量为 90 kg/hm^2；钾肥施用量为 75 kg/hm^2。肥料种类和养分含量：氮肥为尿素（N 46%）；磷肥为过磷酸钙（P_2O_5 12%）；钾肥为硫酸钾（K_2O 50%），其中氮肥取 1/3 为基肥施用，剩余 2/3 在玉米拔节期追施，磷肥和钾肥均作为基肥一次性施用。种植期间进行人工除草、田间管理。

1.3 样品采集、处理和指标测定

2019 年 9 月 30 日，对各个处理的小区进行土样采集，用土钻在每个小区沿“S”型分别采集 0 ~ 20 cm 深度 10 ~ 12 个样点，混合均匀后采用四分法留取样品 1 kg 装入自封袋后带回实验室。采集的土样带回实验室后一部分置于 4 ℃冰箱保存，用于土壤可溶性有机碳的测定；其余部分自然风干，去除根系及其他杂物，研磨后过筛，用于有机碳、土壤养分、轻组有机碳、颗粒有机碳、易氧化有机碳的分析。土壤有机碳、全氮含量通过德国 Elementar 公司生产的 vario ISOTOPE cube 元素分析仪测定；土壤全磷通过恒温加热消解仪，采用酸溶钼锑抗比色法测定；土壤轻组分有机碳和颗粒有机碳组分通过岛津 TOC-SSM-5000A 碳分析仪测定；土壤易氧化有机碳通过分光光度计，采用 K_2MnO_4 氧化法 - 比色法测定；土壤可溶性有机碳通过碳自动分析仪测定[14]。

1.4 数据系统分析法

采用 Excel 2007 对数据进行初步整理、分析，采用 Sigmaplot 12.0 绘制图表，采用 SPSS 22.0 对数据进行方差分析、相关分析、逐步回归分析和通径分析等相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下秸秆还田对农田有机碳及养分的影响

各处理下的土壤有机碳、全氮、全磷含量及碳氮比如表 1 所示。除配施 N 180 kg/hm^2 外，秸秆深埋还田配施菌剂增加了有机碳、全磷含量和碳氮比值，增幅分别为 0.61% ~ 1.55%、2.39% ~ 4.55% 和 1.47% ~ 11.25%；在不同施氮水平下秸秆深埋还田配施菌剂降低了全氮含量，降幅为 3.74% ~ 9.55%。

表 1 不同施氮水平下秸秆还田对农田黑土有机碳及养分的影响

处理	施氮水平（kg/hm^2）	有机碳（g/kg）	全氮（g/kg）	全磷（g/kg）	碳氮比
无秸秆还田	0	19.15 ± 0.02g	1.82 ± 0.01bc	0.73 ± 0.02e	10.52 ± 0.06d
	135	19.58 ± 0.05e	1.85 ± 0.01ab	0.84 ± 0.04d	10.58 ± 0.05d
	180	20.83 ± 0.03a	1.88 ± 0.01a	0.87 ± 0.02cd	11.08 ± 0.05d
	225	19.90 ± 0.06c	1.87 ± 0.05a	0.92 ± 0.03ab	10.63 ± 0.27d
秸秆还田	0	19.44 ± 0.03f	1.74 ± 0.02d	0.77 ± 0.03e	11.51 ± 0.31a
	135	19.70 ± 0.03d	1.67 ± 0.02e	0.86 ± 0.03cd	11.77 ± 0.15a
	180	19.93 ± 0.04c	1.77 ± 0.05cd	0.90 ± 0.02bc	11.24 ± 0.27bc
	225	20.18 ± 0.06b	1.80 ± 0.04bc	0.95 ± 0.02a	11.19 ± 0.23cd
双因素分析（*P* 值）					
施氮水平		<0.001	0.001	<0.001	<0.001
秸秆还田		0.005	<0.001	0.010	0.126
施氮水平 × 秸秆还田		0.000	0.022	0.946	0.116

注：“秸秆深埋还田配施菌剂”简称“秸秆还田”。同列不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下同。

无秸秆还田处理中，土壤有机碳、全氮含量和碳氮比随着施氮水平的增加呈现出先增加后减少的趋势，在 N 180 kg/hm^2 水平时达到最高，增幅分别为 2.26% ~ 8.77%、1.65% ~ 3.30% 和 0.60% ~ 5.30%；全磷含量随着施氮水平的增加出现逐渐增加的趋势，在 N 225 kg/hm^2 水平时达到最高，增加幅度为 14.09% ~ 25.00%。在秸秆深埋还田配施菌剂处理下，土壤有机碳和全磷含量都随着施氮水平的增加出现逐渐增加的趋势，在 N 225 kg/hm^2 水平时达到最高，增加的幅度分别为 1.32% ~ 3.79%、11.74% ~ 24.35%；全氮含量在 N 135 kg/hm^2 水平下减少 4.02%，随后随着施氮水平的增加而增加，在 N 225 kg/hm^2 水平时达到最高，增加的幅度为 1.72% ~ 3.44%；碳氮比在 N 135 kg/hm^2 水平下增加 2.29%，随后随着施氮水平的增加而降低，在 N 225 kg/hm^2 水平时降到最低，降低幅度为 2.34% ~ 2.75%。

双因素分析表明施氮水平对土壤有机碳、全氮、全磷含量及碳氮比具有极显著影响（$P<0.01$）；秸秆还田对土壤有机碳、全氮含量具有极显著影响（$P<0.01$），对全磷含量有显著影响（$P<0.05$），对碳氮比影响不显著；施氮水平与秸秆还田的交互作用对土壤有机碳含量有极显著影响（$P<0.01$），对全氮含量有显著影响（$P<0.05$），对全磷、碳氮比影响不显著。

2.2　不同施氮水平下秸秆还田对土壤活性有机碳的影响

各处理下的土壤黑土轻组有机碳、颗粒有机碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳含量如表 2 所示。在不同施氮水平下秸秆深埋还田配施菌剂增加了轻组有机碳、易氧化有机碳和可溶性有机碳含量，增幅分别为 2.85% ~ 45.31%、2.23% ~ 4.08% 和 46.42% ~ 88.63%，可溶性有机碳含量在 N 180 kg/hm^2 水平下增加最为显著，增加了 88.63%；颗粒有机碳含量在不施氮和施 N 225 kg/hm^2 水平下分别增加 2.82% 和 7.56%，在 N 135 和 180 kg/hm^2 处理下分别减少 21.32% 和 14.69%。

表 2　不同施氮水平下秸秆深埋还田配施菌剂对农田黑土有机碳组分的影响

处理	施氮水平（kg/hm^2）	轻组有机碳（g/kg）	颗粒有机碳（g/kg）	易氧化有机碳（g/kg）	可溶性有机碳（g/kg）
无秸秆还田	0	208.87 ± 8.22ef	45.31 ± 4.47ab	491.13 ± 11.55b	15.08 ± 1.77d
	135	257.50 ± 10.16b	46.07 ± 9.85ab	465.29 ± 4.89cde	15.90 ± 0.85d
	180	225.40 ± 5.82de	37.85 ± 7.34bc	463.43 ± 5.83de	18.38 ± 1.32cd
	225	191.68 ± 4.99g	48.29 ± 8.28ab	447.74 ± 2.79e	15.81 ± 1.90d
秸秆还田	0	303.50 ± 15.89a	46.59 ± 4.56ab	511.17 ± 17.74a	22.08 ± 2.77bc
	135	264.83 ± 14.87b	36.25 ± 3.26bc	481.98 ± 10.38bc	25.44 ± 4.47b
	180	251.37 ± 9.14bc	32.29 ± 2.80c	478.14 ± 10.27bcd	34.67 ± 2.28a
	225	237.39 ± 7.32cd	51.94 ± 8.40a	457.72 ± 1.42e	26.69 ± 3.51b
双因素分析（P 值）					
施氮水平		<0.001	0.007	<0.001	0.001
秸秆还田		<0.001	0.348	0.001	<0.001
施氮水平 × 秸秆还田		<0.001	0.303	0.832	0.044

无秸秆还田条件下，轻组有机碳含量随着施氮水平的增加而出现先增加后减少的趋势，在 N 135 kg/hm^2 水平时达到最高，增加了 23.28%，在 N 225 kg/hm^2 水平时，减少了 8.23%；颗粒有机碳含量在 N 180 kg/hm^2 水平时减少了 16.46%，在 N 135 和 225 kg/hm^2，分别增加 1.68% 和 6.58%；易氧化有机碳含量随着施氮水平的增加出现逐渐减少的趋势，减少幅度为 5.26% ~ 8.83%；可溶性有机碳含量随着施氮水平的增加出现先增加后减少的趋势，增加幅度为 4.84% ~ 21.88%，在 N 180 kg/hm^2 水平时增加了 21.88%。在秸秆深埋还田配施菌剂条件下，施氮与不施氮相比：轻组有机碳和易氧化有机碳含量随着施氮水平的增加出现逐渐减少的趋势，减少幅度分别为 12.74% ~ 21.78% 和 5.71% ~ 10.46%；土壤颗粒有机碳含量在 N 135 和 180 kg/hm^2 时分别减少了 22.19% 和 30.69%，在 N 225 kg/hm^2 时增加了 11.48%；可溶性有机碳含量随着施氮水平的增加也出现先增加后减少的现象，增加幅度为

15.22% ~ 57.02%，在 N 180 kg/hm^2 时达到最高，增加了 57.02%。

双因素分析表明，施氮水平对轻组、颗粒、易氧化及可溶性有机碳含量具有极显著影响（P<0.01）；秸秆还田对轻组、易氧化及可溶性有机碳含量具有极显著影响（P<0.01），对颗粒有机碳含量影响不显著；施氮水平与秸秆还田的交互作用对轻组有机碳含量有极显著影响（P<0.01），对可溶性有机碳含量有显著影响（P<0.01），对颗粒、易氧化有机碳含量影响不显著（表 2）。

2.3　不同施氮水平下秸秆还田对农田黑土活性有机碳组分与有机碳之间相关性的影响

由表 3 可知，无秸秆还田条件下，施氮量水平与有机碳含量呈显著正相关关系（P<0.05），可溶性有机碳含量与有机碳含量呈显著正相关关系（P<0.05）。施氮水平及各活性有机碳组分含量对于有机碳含量的直接作用大小顺序为：施氮量水平（1.016）> 易氧化有机碳 > 可溶性有机碳 > 轻组有机碳 > 颗粒有机碳（–0.064）；可溶性有机碳含量通过其他因素对有机碳含量的正向间接作用最大，为 0.267，易氧化有机碳含量通过其他因素对有机碳含量的负向间接作用最大，为 –0.942。秸秆深埋还田配施菌剂条件下，施氮量水平与有机碳含量呈极显著正相关关系（P<0.01），轻组有机碳、易氧化有机碳含量与有机碳含量呈极显著负相关关系（P<0.01）。施氮水平及有机碳各组分含量对于有机碳含量的直接作用大小顺序为：施氮量水平（0.915）> 颗粒有机碳 > 易氧化有机碳 > 可溶性有机碳 > 轻组有机碳（–0.101）；可溶性有机碳含量通过其他因素对有机碳含量的正向间接作用最大，为 0.462，易氧化有机碳含量通过其他因素对有机碳含量的负向间接作用最大，为 –0.889。

表 3　施氮水平及活性有机碳组分与有机碳间的通径系数

处理	自变量	与 Y 的简单相关系数	通径系数（直接作用）	间接通径系数（间接作用）					
				$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	合计
A	X_1	0.636*	1.016		–0.110	–0.001	–0.384	0.114	–0.381
	X_2	0.028	0.294	–0.379		0.007	0.054	0.052	–0.266
	X_3	–0.370	–0.064	0.011	–0.032		–0.048	–0.237	–0.306
	X_4	–0.510	0.432	–0.904	0.037	0.007		–0.082	–0.942
	X_5	0.674*	0.383	0.303	0.040	0.016	–0.092		0.267
B	X_1	0.993**	0.915		0.090	0.005	–0.014	–0.002	0.079
	X_2	–0.896**	–0.101	–0.813		0.001	0.015	0.002	–0.795
	X_3	0.169	0.034	0.138	–0.002		–0.003	0.003	0.136
	X_4	–0.872**	0.016	–0.790	–0.094	–0.006		0.001	–0.889
	X_5	0.458	–0.005	0.439	0.046	–0.018	–0.005		0.462

注：* 表示在 0.05 水平（双侧）上显著相关；** 表示在 0.01 水平（双侧）上显著相关；A 代表无秸秆还田，B 代表秸秆还田，X_1 代表施氮量水平，X_2 代表轻组有机碳，X_3 代表颗粒有机碳，X_4 代表易氧化有机碳，X_5 代表可溶性有机碳，Y 代表有机碳。

3　讨论

3.1　秸秆还田和施氮水平对农田黑土有机碳及养分的影响

在本研究中，秸秆深埋还田配施菌剂处理下，土壤有机碳、全磷均呈现增加趋势，一方面是秸秆还田可为微生物提供充足的碳源，促进作物根系和土壤微生物活动，微生物分解的有机物质以及秸秆腐解物是有机碳组分的主要来源；由此可知，秸秆还田时需配合适量氮肥调节土壤碳氮比来稳定土壤碳氮含量[15]；另一方面施用氮肥和秸秆还田，为土壤提供有机碳源，并降低土壤碳氮比，促进秸秆碳转化为土壤碳，增加土壤总有机碳储量[16]。土壤碳氮比是衡量土壤碳、氮营养平衡状况的指标，对土壤碳、氮循环有重要影响[17]。刘金山等[18]研究表明，施氮可不同程度地提高土壤碳、氮含量，从而影响土壤供氮能力，而过量施氮未显著增加旱地土壤有机碳和有机氮含量，氮肥施用量的不同会

影响碳氮比的平衡，从而影响土壤微生物活动，当施氮量增至某一适宜值时，碳氮比会使微生物活性提升，进而加速其对有机碳的矿化分解[19]。增施氮肥是粮食增产的重要措施，外源氮素的添加对农田生态系统的碳循环有着重要的影响[20]，李欣伦等[21]研究发现有机物料还田可通过提高土壤有机碳含量增加玉米产量。这些研究结果与本研究结果一致，秸秆深埋还田配施菌剂后配施不同氮水平可以提高土壤有机碳含量。

3.2　不同施氮水平下秸秆深埋还田配施菌剂对农田黑土有机碳组分的影响

土壤有机碳具有高度异质性，不同组分的有机碳由于化学性质和存在方式等不同，其生物有效性和肥力功能均不同，并反映出不同的稳定机制，所以深入研究土壤有机碳的组分特征，对于更好地了解土壤有机碳的稳定性和肥力机制具有重要意义。土壤有机碳各组分是土壤活性碳库，易被微生物分解和利用，这些有机碳组分对秸秆深埋还田配施菌剂、施氮水平等因素响应更加敏感，是土壤碳库质量的重要指标，更直观反映土壤质量变化。本试验通过秸秆深埋还田配施菌剂后配施不同氮水平处理对有机碳组分含量变化的影响进行研究，结果表明，轻组有机碳、易氧化有机碳和可溶性有机碳含量在秸秆还田处理下随着施氮水平的增加而出现先增加后减少的趋势，总体来说这3个组分的含量都有不同程度地增加，这与裴鹏刚等[22]研究结果一致，显著增加土壤可溶性有机碳含量，与Gregorich等[23]的研究结果也一致，施肥土壤会有更多的轻组有机碳，说明这3个组分能够反映秸秆深埋还田配施菌剂对土壤短期内质量变化影响的情况。颗粒有机碳的含量变化在秸秆腐解处理下随着施氮水平的增加而呈现出不稳定的情况，对其影响的规律无法掌握，Xu等[24]和Nayak等[25]研究表明，秸秆还田下土壤颗粒有机碳、稳定性有机碳以及有机碳含量均显著增加，但以颗粒有机碳提升幅度最大，本研究结果与其颗粒有机碳含量的变化不一致，因而不能通过本试验对其影响机制进行概述，有待进一步研究。

4　结论

不同施氮水平下秸秆深埋还田配施菌剂能显著增加农田黑土有机碳、全磷和活性有机碳组分的含量，降低全氮的含量，提高土壤碳氮比，但配施过量氮肥效果不显著，配施N 180 kg/hm^{2}水平总体效果最显著、效益最高，综合施肥成本、秸秆腐解效率等多方面因素，秸秆还田配施N 180 kg/hm^{2}是本试验的最佳用量处理组合，为农户实际生产提供定量指标，有望成为黑土地区秸秆资源利用、农田黑土土壤培肥和可持续发展的有效方式。

参考文献：

［1］　韩晓增，邹文秀．我国东北黑土地保护与肥力提升的成效与建议［J］．中国科学院院刊，2018，33（2）：206-212.

［2］　冯敏，吴红艳，王志学．秸秆还田对土壤硝化特性和氨化特性及其相关菌群数量的影响［J］．微生物学杂志，2018，38（2）：50-54.

［3］　马超，周静，刘满强，等．秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响［J］．土壤学报，2013，50（5）：915-921.

［4］　焦晓光，王晓军，徐欣，等．秸秆覆盖条件下不同施氮水平对春玉米产量及氮肥利用率的影响［J］．土壤与作物，2018，7（2）：242-247.

［5］　王旭东，陈鲜妮，王彩霞，等．农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果［J］．农业工程学报，2009，25（10）：252-257.

［6］　李新华，郭洪海，朱振林，等．不同秸秆还田模式对土壤有机碳及其活性组分的影响［J］．农业工程学报，2016，32（9）：130-135.

［7］　艾孜古丽·木拉提，同延安，杨宪龙，等．不同施肥对农田土壤有机碳及其组分的影响［J］．土壤通报，2012，43（6）：1462-1466.

［8］　Brown K H，Bach E M，Drijber R A，et al．A long-term nitrogen fertilizer gradient has little effect on soil organic matter in a high-intensity maize production system［J］．Global Change Biology，2014，20：1339-1350.

［9］　袁嫚嫚，邬刚，孙义祥，等．秸秆还田配施化肥对稻油轮作土壤有机碳组分及产量影响［J］．植物营养与肥料学报 2017，23（1）：27-35.

［10］　周珂，王晓军，焦晓光，等．秸秆深埋条件下不同施氮水平对玉米产量和氮吸收利用的影响［J］．中国农学通报，2019，35（33）：6-11.

［11］　于寒，谷岩，吴春胜，等．玉米秸秆腐解规律及土壤微生物功能多样性研究［J］．水土保持学报，2015，29（2）：305-309.

［12］　徐勇，沈其荣，钟增涛，等．化学处理和微生物混合培养对水稻秸秆腐解和组分变化的影响［J］．中国农业科学，2003，36（1）：59-65.

［13］　李东升，周为华，朱新开，等．秸秆还田对土壤特性和作物生产的影响［J］．安徽农学通报（上半月刊），2010，16（15）：158-161.

［14］　鲍士旦．土壤农化分析［M］．北京：中国农业出版社，2000.

［15］　吴立鹏，张士荣，娄金华，等．秸秆还田与优化施氮对稻田

土壤碳氮含量及产量的影响［J］. 华北农学报，2019，34（4）：158-166.
［16］ 佟小刚，徐明岗，张文菊，等. 长期施肥对红壤和潮土颗粒有机碳含量与分布影响［J］. 中国农业科学，2008，41（11）：3664-3671.
［17］ 任书杰，曹明奎，陶波，等. 陆地生态系统氮状态对碳循环的限制作用研究进展［J］. 地理科学进展，2006，25（4）：58-67.
［18］ 刘金山，戴健，刘洋，等. 过量施氮对旱地土壤碳、氮及供氮能力的影响［J］. 植物营养与肥料学报，2015，21（1）：112-120.
［19］ 王楠，陈殿元，张晋京，等. 施氮水平对基础肥力不同的玉米田土壤有机碳组分数量的影响［J］. 玉米科学，2016，24（6）：114-119.
［20］ Mazzoncini M，Sapkota T B，Barberi P，et al. Long term effect of tillage，nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content［J］. Soil & Tillage Research，2011，114（2）：165-174.
［21］ 李欣伦，屈晓泽，李伟彤，等. 有机肥与化肥配施对黑土理化性质及玉米产量的影响［J］. 国土与自然资源研究，2017（4）：45-48.
［22］ 裴鹏刚，张均华，金千瑜，等. 培养条件下秸秆还田对水稻土微生物活性的影响［J］. 中国稻米，2014，20（3）：6-10.
［23］ Gregorich E G，Ellert B H，Drury C F. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage［J］. Soil Soil Science Society of America Journal，1996，60（2）：472-476.
［24］ Xu M G，Lou Y L，Sun X L，et al. Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation［J］. Biology & Fertility of Soils，2011，47（7）：745-752.
［25］ Nayak A K，Gangwar B，Shukla A，et al. Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice-wheat system in Indo Gangetic Plains of India［J］. Field Crops Research，2012，127：129-139.

Effects of straw return on nutrients and labile organic carbon in arable mollisols under different nitrogen application levels

LIU Bi-dong[1]，CHEN Yi-ming[2]，SUI Yue-yu[2]，JIAO Xiao-guang[1*]（1. College of Modern Agriculture and Eco-Environment，Heilongjiang University，Harbin Heilongjiang 150080；2. Northeast Institute of Geography and Agroecology，Chinese Academy of Sciences，Harbin Heilongjiang 150081）

Abstract：The purpose of this study was to reveal the effect of straw return with decomposition-promoting microbes on soil nutrients，labile organic carbon and the behind mechanism in mollisols under different nitrogen application levels. A split block design method was used to conduct the experiment on the mollisols farmland，in which no straw return and straw return with decomposition-promoting microbes were the two main factors，with four nitrogen application levels，i.e. 0，135，180 and 225 kg/hm^2 as the side factors. Soil organic carbon，total nitrogen，total phosphorous and labile organic carbon fractions were tested. Labile organic carbon fractions were indicated by dissolved organic carbon，readily oxidation organic carbon，light-fraction organic carbon and particle organic carbon. The results showed that under different nitrogen application levels in straw return with decomposition-promoting microbes treatment，soil organic carbon，total phosphorus，light-fraction organic carbon，readily oxidation organic carbon and dissolved organic carbon contents increased by 0.61% ~ 1.55%，2.39% ~ 4.55%，2.85% ~ 45.31% 2.23% ~ 4.08% and 46.42% ~ 88.63%，respectively，while total nitrogen contents decreased by 3.74% ~ 9.55%. In no straw return treatment，when compared with 0 kg/hm^2，the application of nitrogen increased soil organic carbon，total nitrogen，total phosphorus，dissolved organic carbon by 2.26% ~ 8.77%，1.65% ~ 3.30%，14.09% ~ 25.00%，4.84% ~ 21.88%，respectively，while decreased readily oxidation organic carbon by 5.26% ~ 8.83%. In straw return with decomposition-promoting microbes treatment when compared with 0 kg/hm^2，after application of nitrogen，soil organic carbon and total phosphorus increased by 1.32% ~ 3.79% and 11.74% ~ 24.35%，respectively；while light-fraction organic carbon and readily oxidation organic carbon decreased by 12.74% ~ 21.78% and 5.71% ~ 10.46%，respectively；dissolved organic carbon increased by 57.02% under the level of N 180 kg/hm^2. Straw return with decomposition-promoting microbes combined with appropriate amount of nitrogen fertilizer could increase labile organic carbon fractions soil organic carbon and improve soil nutrient supply capacity，but the effect of excessive nitrogen fertilizer was not obvious. Straw return with decomposition-promoting microbes combined with N 180 kg/hm^2 performed the best among the four nitrogen application levels，which was expected to be a practical and effective way to improve mollisols fertility.

Key words：straw return；nitrogen application level；arable mollisols；nutrients；labile organic carbon