

秸秆还田下减氮对土壤养分、酶活性和冬小麦产量的影响

刘红杰¹ 任德超¹ 倪永静¹ 葛君¹ 张素瑜¹ 吕国华² 胡新¹

(¹商丘市农林科学院, 476000, 河南商丘; ²中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081, 北京)

摘要 为探索豫东地区冬小麦减量施氮潜力, 通过连续3年定位试验, 研究了秸秆还田下减量配施氮肥对土壤养分、酶活性和小麦产量的影响。结果表明, 与秸秆移除下施全氮相比, 秸秆还田下减量施氮有利于土壤有机质含量增加, 其中氮肥减量20%和减量40%的处理能显著提高土壤有机质含量。减量施氮对土壤全氮和有效磷含量无显著影响; 秸秆还田能提高土壤速效钾含量, 但氮肥减量20%和减量40%处理土壤速效钾含量增加幅度较小, 约为6.5%, 除两者外, 其余处理均与秸秆移除处理存在显著性差异。秸秆还田对土壤pH有一定正效应, 能减缓土壤酸化程度, 但差异未达到显著水平; 秸秆还田下配施氮肥能增加土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性, 且减量施氮更利于土壤酶活性的提升。秸秆还田配施氮肥对土壤脲酶活性无显著影响; 秸秆还田下减氮20%和减氮40%处理产量均处于较高水平, 且穗粒数、千粒重与全量氮肥处理相比无显著差异, 减氮40%处理的穗数也处于最高水平, 但与其他处理差异不显著。可见减氮40% (180 kg/hm²) 并结合秸秆还田可获得较高产量。

关键词 秸秆还田; 减量施氮; 土壤养分; 酶活性; 产量

秸秆还田不但可以提高土壤有机碳含量, 而且有利于土壤的微生物繁殖、酶活性提升和理化性质改善。同时秸秆中富含氮、磷、钾元素, 对促进土壤养分平衡、土壤质量和生产力提升极其重要^[1]。我国是农业大国, 每年秸秆总量已超过9亿t^[2], 可提供N 776.8万t、P₂O₅ 221.34万t和K₂O 1258.2万t, 对农业生产节本增效和可持续发展具有重要意义。秸秆快速腐解时需要大量的养分, 易引起与作物幼苗生长之间争夺土壤氮素, 导致作物幼苗缺氮而黄化、瘦弱, 而施入化肥氮素可以缓和争夺氮素的矛盾^[3], 从而促进作物生长, 增加产量。施用氮肥对作物产量和品质影响显著, 但单一增施氮肥不仅造成氮肥利用率低, 经济效益下降, 而且长期大量施用会导致土壤硝态氮的过度积累, 增加水体和大气污染及生态恶化的风险^[4]。化肥或者秸秆单一施用并不能维持作物可持续生产, 不是促进作物增产的最佳途径^[5-6]。秸秆还田配施适量无机化肥能显著改善土壤质量, 增加作物生产的稳定性和持续性^[7]。秸秆还田可以实现对化学肥料的部分替代, 降低农业生产对化学肥料的依赖性^[8]。近年来, 关于秸秆还田与氮肥互作种植模式的研究较多。Sun等^[9]研究认为, 秸秆还田配施化肥可以提高所有与氮素循环相关的功能基因丰度。Chen等^[10]研究表明, 秸秆还田配施化肥相比于单施秸秆可以显著提

升土壤肥力和酶活性, 改变细菌群落结构。成臣等^[11]研究表明, 秸秆还田与施氮互作可以降低土壤容重, 改善土壤理化性质。杨艳华等^[12]和董印丽等^[13]研究发现, 秸秆还田与施氮互作促进了土壤养分及酶活性的提高, 为作物生长提供了更优的土壤环境, 达到增产的目的。

受环境、地域以及互作模式的影响, 秸秆还田和氮肥对土壤肥力的提升效应和提高作物产量的能力有所不同^[14]。豫东地区处于黄淮平原腹地, 是中国冬小麦主产区之一。在冬小麦生产中普遍存在氮肥过量投入的问题, 本试验以冬小麦稳产为前提, 采用田间定位试验, 探讨了秸秆还田下减量施氮对土壤养分、酶活性以及冬小麦产量的影响, 为区域内冬小麦生产中氮肥合理施用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省商丘市梁园区李庄乡商丘市志诚种植农民专业合作社种植基地 (115°37'34" E, 34°31'32" N), 土壤类型为潮土, 该地属暖温带半湿润季风气候, 年均气温 14.5℃, 年日照时数 2350h, 年均降水量 650mm, 年均无霜期 210d。土地流转 10 年以上, 土壤肥力均匀, 地势平整, 2017 年耕层有机质 18.1g/kg、全氮 1.05g/kg、速效磷

作者简介: 刘红杰, 主要从事小麦绿色高产简约栽培研究, E-mail: liuhj84@163.com

任德超为通信作者, 主要从事小麦绿色高产栽培研究, E-mail: rdchao1@163.com

基金项目: 粮食丰产增效科技创新专项 (2017YFD0300410-02); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-03-72); 河南省科技攻关项目 (202102110021)

收稿日期: 2022-01-04; 修回日期: 2022-04-02; 网络出版日期: 2023-05-30

41.4mg/kg、速效钾 192.3mg/kg、pH 7.22。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验地为小麦、玉米周年轮作，秸秆全量还田。试验设置 6 个处理，分别为不施氮（T1）、减氮 70%（T2）、减氮 40%（T3）、减氮 20%（T4）、施全量纯氮 300kg/hm²（T5，对照）和秸秆移除下施纯氮 300kg/hm²（T6）。小区面积 350m²（7m×50m），行距 0.2m，小区随机排列，重复 3 次。试验品种为半冬性优质强筋小麦品种郑麦 369，播种量为 172.5kg/hm²。各处理磷肥和钾肥用量一致，分别为磷肥（P₂O₅）90kg/hm²和钾肥（K₂O）45kg/hm²。70%氮肥与全部磷钾肥在整地前撒施，其余 30%氮肥在小麦返青起身期追施。于 2017–2020 年连续 3 年定位试验，其他管理同大田。

1.2.2 土壤样品采集 于 2020 年 6 月小麦成熟期进行取样，每个小区采用五点取样法，收集 0~20cm 深土样并混合均匀，标记后带回实验室进行风干和过筛处理，用来测定土壤养分和土壤酶活性。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤养分及酶活性 土壤养分的测定^[15]如下，采用重铬酸钾—硫酸外加热法测定有机质含量。采用半微量凯式定氮法测定全氮含量。采用钼锑抗比色法测定有效磷含量。采用火焰光度计比色法测定速效钾含量。采用电位法测定 pH。土壤酶活性的测定^[16]如下，采用苯酚钠次氯酸钠比色法测定土壤脲酶活性。采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性。采用高锰酸钾容量滴定法测定过氧化氢酶活性。采用邻苯二钠比色法测定碱性磷酸酶活性。

1.3.2 产量及其构成要素 于冬小麦蜡熟中期，每小区随机采集 3 个 1m 双行样段，标记后带回实验

室，风干后考察产量三要素（穗数、穗粒数、千粒重）。各小区随机选取长势均匀一致的 3 个 2m² 样方，风干后脱粒称重，换算成公顷产量。

1.4 数据处理

利用 Excel 2010 和 SPSS 23 软件对数据进行处理及分析，采用 LSD 方法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田下减量施氮对土壤养分含量的影响

由表 1 可知，与 T6 处理相比，秸秆还田处理增加了土壤有机质含量，不同施氮量处理对土壤有机质含量影响不一致，仅 T4 和 T3 处理能显著提高土壤有机质含量，分别比 T6 处理提高了 12.20%和 15.59%。与对照（T5）处理相比，秸秆移除和减量施氮处理都会降低全氮和有效磷含量，其中 T6 和 T4 处理的全氮和有效磷含量下降相对较小，不存在显著性差异。但减施氮量 20%以上将会显著降低土壤全氮和有效磷含量；与 T6 处理相比，秸秆还田能促进土壤速效钾含量的增加，增加幅度为 6.50%~23.77%，且随着氮肥减量比例的增加，土壤速效钾含量呈先降后升的变化趋势。其中 T3 和 T4 处理的速效钾含量与 T5 处理存在显著性差异。秸秆还田下不施氮处理土壤速效钾含量最高，达到了 234.64mg/kg，与 T5 处理差异不显著，这可能是因为不施氮肥时冬小麦产量降低明显，导致速效钾吸收利用降低，加上每年外源钾（秸秆钾和化肥钾）的施入，促进了土壤速效钾的积累；与 T5 处理相比，秸秆移除能降低土壤 pH，而同在秸秆还田条件下，减量施氮能促进土壤 pH 提升，且随着减量比例的增加，土壤 pH 有逐渐升高的趋势，但均未达到显著性差异。

表 1 不同处理对土壤养分含量和 pH 的影响
Table 1 Effects of different treatments on soil nutrient contents and pH

处理 Treatment	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)	有效磷 Available phosphorus (g/kg)	速效钾 Available potassium (mg/kg)	pH
T1	19.32±0.68bc	1.10±0.05b	43.35±2.12c	234.64±15.25a	7.52±0.26a
T2	19.36±1.12bc	1.11±1.11b	44.30±0.69bc	217.90±14.16ab	7.67±0.31a
T3	21.16±0.95ab	1.13±1.13b	45.85±1.33bc	202.55±13.37bc	7.51±0.23a
T4	21.80±1.09a	1.17±0.08ab	48.06±1.63a	201.90±8.98bc	7.42±0.15a
T5	20.79±1.25abc	1.31±1.31a	47.40±1.13a	229.57±10.82a	7.19±0.29ab
T6	18.86±0.87c	1.24±1.24ab	46.07±2.40abc	189.58±12.15c	6.95±0.32b

同列不同字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。下同

Different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below

2.2 秸秆还田下减量施氮对土壤酶活性的影响

由表 2 可知，与 T6 相比，秸秆还田能增加大

部分处理的土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性。而秸秆还田条件下，随着氮肥减量比例的增

加,土壤过氧化氢酶活性逐渐增加,而土壤碱性磷酸酶和蔗糖酶活性则呈先升后降的变化趋势。其中,T2 和 T3 处理的土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性都处于较高水平,与 T5 处理相比,土壤过氧化氢酶活性分别提高 31.94%和 18.25%,碱性磷酸酶活性分别提高 37.50%和 41.67%,蔗糖酶活性分别提高 7.55%和 13.21%;与 T5 处理相比,秸秆移除和减量施氮都会影响土壤脲酶活性,但各处理的脲酶活性相差较小,差异不显著。

表 2 不同处理对土壤酶活性的影响
Table 2 Effects of different treatments
on soil enzyme activities

处理 Treatment	过氧化氢酶 Catalase [mg/(g·20min)]	脲酶 Urease [mg/(g·h)]	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase [mg/(g·h)]	蔗糖酶 Sucrase [mg/(g·h)]
T1	3.55±0.18a	11.44±0.71a	0.26±0.01bc	0.48±0.02c
T2	3.47±0.14a	11.52±0.40a	0.33±0.01a	0.57±0.05ab
T3	3.11±0.07b	11.67±0.29a	0.34±0.01a	0.60±0.02a
T4	3.02±0.16bc	11.58±0.75a	0.28±0.02b	0.58±0.02ab
T5	2.63±0.09d	11.49±0.44a	0.24±0.02c	0.53±0.02bc
T6	2.84±0.10cd	11.87±0.77a	0.20±0.01d	0.50±0.03c

2.3 秸秆还田下减量施氮对小麦产量及其构成要素的影响

通过对冬小麦的产量及其构成要素的分析(表 3)可知,除 T1 处理外,其他秸秆还田处理的穗粒数都低于秸秆移除处理(T6),说明秸秆还田不利于穗粒数的增加。且随着减量比例的增加,穗粒数逐渐降低。T2 处理的穗粒数最低,仅为 28.37,除 T3 理外,与其他处理存在显著性差异。T1 处理的穗粒数最多,为 33.80,可能因为不施氮不利于小麦分蘖。除 T1 处理外,其他秸秆还田处理的穗数均高于 T5 处理,说明秸秆还田配施适量氮肥利于穗数的增加。与 T5 处理相比,随着氮肥减量比例的增加,穗数呈先增后降的变化趋势,其中 T3 处理的穗数处于最高水平,为 706.90 万穗/hm²,除 T2 处理外,均与其他处理存在显著性差异,说明秸秆还田条件下,配施适量氮肥能促进穗数的增加,而施氮量过多或过少则不利于穗数的增加。与 T5 处理相比,秸秆移除和减量施氮处理对千粒重数影响较小,且不存在显著性差异。与 T5 处理相比,秸秆移除和减量施氮都对冬小麦产量产生影响,秸秆移除处理会降低产量,但未达到显著水平。而冬小麦产量则随着氮肥减量比例的增加先增后降,T4 处理产量最高,为 8197.74kg/hm²,但与 T3

处理差异不显著,说明氮肥减量 40%并结合秸秆还田依然具有较高的产量水平。

表 3 不同处理对小麦产量及其构成要素的影响
Table 3 Effects of different treatments
on wheat yield and its components

处理 Treatment	穗粒数 Grain number per spike	穗数 Spike number (×10 ⁴ /hm ²)	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm ²)
T1	33.80±1.89a	508.00±23.37d	45.37±1.09a	6974.64±313.86c
T2	28.37±1.96c	659.20±16.22ab	45.14±1.81a	7535.97±218.54bc
T3	30.37±1.06bc	706.90±46.66a	43.48±2.34a	8032.50±409.66ab
T4	31.87±1.10ab	602.85±8.65bc	45.92±1.57a	8197.74±323.81a
T5	32.70±1.64ab	599.06±23.66bc	44.38±1.07a	7753.55±269.62ab
T6	32.86±2.14ab	567.94±35.25c	45.73±1.55a	7413.59±380.32bc

由图 1 可知,产量随施氮量变化的方程拟合系数 $R^2>0.92$,说明建立的二次曲线方程能较好地反映施氮量与产量的相关性。拟合方程的拐点表示最高产量出现的位置,在施氮量为 211.76kg/hm²时,冬小麦产量达到最大值,为 8049.50kg/hm²。

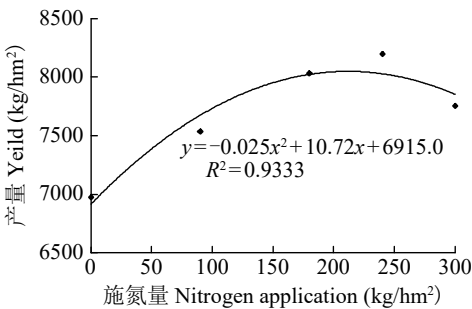


图 1 秸秆还田下不同施氮量对冬小麦产量的影响
Fig.1 Effects of different nitrogen applications
on winter wheat yield under straw returning

3 讨论

秸秆还田不但可促进土壤团粒结构的形成,改善理化性质^[17],而且可为微生物的繁殖和活动提供能量,促进土壤生物活性提高和养分循环^[18]。宋朝玉等^[19]认为,长期秸秆还田可以显著提高土壤有机质和全氮含量。本研究发现,秸秆还田配施氮肥有利于土壤有机质含量增加。配施减量 20%~40%氮肥处理的土壤有机质含量处于较高水平,说明秸秆还田下配施适量氮肥可以加快作物秸秆的腐解,有利于土壤有机质的积累^[20]。与秸秆移除全量施氮相比,秸秆还田全量施氮能提高土壤全氮和有效磷含量,但未达到显著差异,这与马丽娜等^[21]研究结论相同。但随着施氮量的降低,土壤全氮和有效磷含量有逐渐降低趋势,秸秆还田配施减量 40%以上氮肥处理的全氮和有效磷含量均处于较低水平,均与

秸秆全量氮肥处理存在显著性差异，但与秸秆移除全量施氮处理不存在显著性差异。可见秸秆还田不会显著影响土壤全氮含量，但减量施氮会降低土壤全氮和有效磷含量；与秸秆移除处理相比，秸秆还田处理的土壤速效钾含量提高了 6.49%~23.77%，说明秸秆还田可提高土壤速效钾含量，这与戴志刚等^[22]和谢占军等^[23]研究结论基本一致。配施减量 20%~40%氮肥处理的土壤速效钾含量增加幅度在 6.5%以上，可能是因为秸秆还田下适量施用氮肥能显著提高冬小麦产量，促进了速效钾的吸收利用^[24]。本研究发现，秸秆还田对土壤 pH 有一定正效应，减缓土壤酸化程度，但氮肥水平对土壤 pH 含量影响不显著，这与王学敏等^[25]的研究结论基本一致。

土壤酶是土壤代谢的主要动力，其活性高低反映了土壤生化反应的强度和方向，是衡量土壤质量的指标^[26]。宫秀杰等^[27]认为，秸秆还田配施氮肥能够增加土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性。刘玮斌等^[28]和高日平等^[29]研究发现，秸秆还田可以显著提高土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶和酸性磷酸酶活性。但也有学者^[30]认为，减量施氮配施有机肥能增加土壤脲酶活性，对蔗糖酶和碱性磷酸酶活性无显著影响。本研究发现，秸秆还田下配施氮肥能增加土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性，且减量施氮更利于土壤酶活性的提升。秸秆还田配施氮肥则对土壤脲酶活性无显著影响。

目前，秸秆还田在农业生产中得到了广泛应用，是农业可持续发展的一项重要措施。本研究发现，秸秆还田配施氮肥可显著增加冬小麦的产量，这与王金金等^[31]的研究结论相同。有学者^[32]认为，施氮量与冬小麦籽粒产量呈二次曲线关系，在一定范围内施氮量能增加产量，施氮量过低或过高会造成产量降低，这与本研究结果一致。本研究中，与秸秆移除全量施氮处理相比，秸秆还田配施减量 20%氮肥处理显著增产，说明该处理施氮量处于相对合适水平（求解施氮量和籽粒产量的一元二次拟合方程，显示最佳施氮量 212.76kg/hm²，相当于减量约 30%），说明秸秆还田下氮肥减量具有较大的扩展空间。从产量构成要素来看，减量 40%和减量 20%氮肥处理的穗粒数、千粒重与全量氮肥处理无显著差异，减量 40%处理的穗数处于最高水平，且与减量 20%、全量氮肥处理存在显著性差异。减氮 40%和减氮 20%处理产量都处于较高水平，且两者间不存在显著性差异。这意味着从减氮的角度而

言，冬小麦减氮 40%同时结合秸秆还田依然具有较高的产量水平。这与秸秆腐熟后可以释放大量的氮、磷、钾等营养元素，且提高了土壤微生物数量和土壤酶活性，促进了土壤营养元素的释放与贮存有关，这些都有助于减量施氮空间扩展，有助于最大限度降低农户施肥成本。

4 结论

秸秆还田配施氮肥有利于土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量和 pH 的增加。氮肥减量 20%和减量 40%处理的土壤有机质含量处于较高水平，而土壤速效钾含量则显著低于对照，但均高于秸秆移除处理 6.5%以上。减量施氮会降低土壤全氮和有效磷含量，减缓土壤酸化程度。

秸秆还田下配施氮肥能增加土壤过氧化酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性，且减量施氮更利于土壤酶活性的提升。秸秆还田配施氮肥对土壤脲酶活性无显著影响。

秸秆还田下配施适量氮肥可以显著增加冬小麦的产量，氮肥减量 40%和 20%处理的产量均处于较高水平。

参考文献

- [1] 南雄雄, 田霄鸿, 张琳, 等. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳、氮含量的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 626-633.
- [2] 毕于运, 王亚静, 高春雨, 等. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布. 农机化研究, 2010, 32(3): 1-7.
- [3] 张唯乐, 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. 中国农业科学, 2016, 49(7): 1254-1266.
- [4] 王宜伦, 刘天学, 赵鹏, 等. 施氮量对超高产夏玉米产量与氮素吸收及土壤硝态氮的影响. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2483-2491.
- [5] 赵吉平, 权宝全, 郭鹏燕, 等. 秸秆还田与施氮量对土壤质量及小麦产量的影响. 华北农学报, 2021, 36(2): 176-181.
- [6] 薛志伟, 杨春玲. 秸秆还田条件下氮肥用量对冬小麦生长发育及产量的影响. 作物研究, 2021, 35(3): 200-204.
- [7] Miao Y X, Stewart B A, Zhang F S. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review. Agronomy for Sustainable Development, 2011, 31(2): 397-414.
- [8] Ninh H T, Grandy A S, Wickings K, et al. Organic amendment effects on potato productivity and quality are related to soil microbial activity. Plant and Soil, 2015, 386(1/2): 223-236.
- [9] Sun R, Guo X, Wang D, et al. Effects of long-term application of chemical and organic fertilizers on the abundance of microbial communities involved in the nitrogen cycle. Applied Soil Ecology, 2015, 95: 171-178.
- [10] Chen Y, Xin L, Liu J, et al. Changes in bacterial community of soil induced by long-term straw returning. Scientia Agricola, 2017, 74(5): 349-356.
- [11] 成臣, 汪建军, 程慧煌, 等. 秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响. 土壤学报, 2018, 55(1): 247-257.

- [12] 杨艳华, 苏瑶, 何振超, 等. 还田秸秆碳在土壤中的转化分配及土壤有机碳库影响的研究进展. 应用生态学报, 2019, 30(2): 668-676.
- [13] 董印丽, 李振峰, 王若伦, 等. 华北地区小麦、玉米两季秸秆还田存在问题及对策研究. 中国土壤与肥料, 2018(1): 159-163.
- [14] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻茬麦土壤养分、酶活性及产量影响. 西南农业学报, 2018, 31(5): 998-1005.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [17] Yang Y H, Su Y, He Z C, et al. Transformation and distribution of straw-derived carbon in soil and the effects on soil organic carbon pool: A review. The Journal of Applied Ecology, 2019, 30(2): 668-676.
- [18] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 23-35.
- [19] 宋朝玉, 王圣健, 宫明波, 等. 小麦—玉米周年秸秆还田模式下氮肥利用特征的分析. 山东农业科学, 2020, 52(10): 113-118.
- [20] 郑顺安, 刘代丽, 章明奎, 等. 长期秸秆还田对污染农田土壤与农产品重金属的影响. 水土保持学报, 2020, 34(2): 354-359.
- [21] 马丽娜, 马俊祥, 王冬梅, 等. 秸秆还田与施氮量对盐碱梗稻区土壤养分及产量的影响. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 134-140.
- [22] 戴志刚, 鲁剑巍, 李晓坤, 等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
- [23] 谢占军, 柳赞博, 韩瑛祚, 等. 秸秆还田条件下氮肥对玉米产量和土壤肥力的影响. 辽宁农业科学, 2021(2): 31-33.
- [24] 张珊, 石祖梁, 杨四军, 等. 施氮和秸秆还田对晚播小麦养分平衡和产量的影响. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2714-2720.
- [25] 王学敏, 刘兴, 郝丽英, 等. 秸秆还田结合氮肥减施对玉米产量和土壤性质的影响. 生态学杂志, 2020, 39(2): 507-516.
- [26] 路怡青, 朱安宁, 张佳宝, 等. 免耕和秸秆还田对小麦生长期土壤酶活性的影响. 生态与农村环境学报, 2013, 29(3): 329-334.
- [27] 宫秀杰, 钱春荣, 曹旭, 等. 玉米秸秆还田配施氮肥对土壤酶活、土壤养分及秸秆腐解率的影响. 玉米科学, 2020, 28(2): 151-155.
- [28] 刘玮斌, 田文博, 陈龙, 等. 不同秸秆还田方式对土壤酶活性和玉米产量的影响. 中国土壤与肥料, 2019, 283(5): 25-29.
- [29] 高日平, 刘小月, 杜二小, 等. 垄膜沟播与秸秆还田对内蒙古黄土高原玉米农田土壤水分、酶活性及产量的影响. 中国农业科技导报, 2021, 23(11): 181-190.
- [30] 叶盛嘉, 郑晨萌, 张影, 等. 氮肥减量配施有机肥对豫中地区冬小麦—夏玉米轮作生产力和土壤性质的影响. 中国生态农业学报, 2021, 30(6): 900-912.
- [31] 王金山, 刘小利, 刘佩, 等. 秸秆还田条件下减施氮肥对旱地冬小麦水氮利用、光合及产量的影响. 麦类作物学报, 2020, 40(2): 210-219.
- [32] 杨宪龙, 路永莉, 同延安, 等. 长期施氮和秸秆还田对小麦—玉米轮作体系土壤氮素平衡的影响. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 65-73.

Effects of Straw Returning and Reducing Nitrogen Application on Soil Nutrients, Enzyme Activities and Wheat Yield

Liu Hongjie¹, Ren Dechao¹, Ni Yongjing¹, Ge Jun¹, Zhang Suyu¹, Lü Guohua², Hu Xin¹

(¹Shangqiu Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shangqiu 476000, Henan, China; ²Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract In order to explore the potential of nitrogen reduction in winter wheat planting in eastern Henan province, the effects of straw returning and reducing nitrogen application on soil nutrients, enzyme activities and yield by three-year field experiment were studied. The results showed that compared with the total nitrogen treatment with straw removal, the reducing nitrogen application under straw returning was beneficial to the increase of soil organic matter content. The reduction of nitrogen application with 20% and 40% could significantly increase the soil organic matter content. Reducing nitrogen application had no significant effect on the contents of soil total nitrogen and available phosphorus. The straw returning could increase the content of soil available potassium, the increase range of soil available potassium was about 6.5% under 20% and 40% reduction nitrogen application treatments, respectively, except the two treatments, the other treatments had significant differences with the straw removal treatment. There were certain positive effects with straw returning on soil pH, and straw returning could be slowed down the degree of soil acidification, but it was not significant. Straw returning and nitrogen application could increase the soil catalase, alkaline phosphatase and sucrase activities, and reducing nitrogen application was more beneficial to the increase of soil enzyme activity. There was no significant effect on soil urease activity by straw returning and reducing nitrogen application. The yields of the 20% and 40% reduction in nitrogen application treatments were at a high level, and there was no significant difference in grain number per spike, 1000-grain weight with total nitrogen application treatment. The spike number of the 40% reduction nitrogen application treatment was the highest, but there was no significant difference with other treatments. In conclusion, the 40% reduction nitrogen application (180kg/ha) with straw returning to field still had high yield.

Key words Straw returning; Reducing nitrogen application; Soil nutrients; Enzyme activities; Yield