

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.028

秸秆还田配施氮肥对土壤碳氮含量与玉米生长的影响

侯贤清 李 荣 吴鹏年 李培富 王西娜
(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要: 为明确宁夏扬黄灌区秸秆还田条件下的适宜施氮量,在玉米秸秆全量还田条件下,设4种纯氮施用水平(0 kg/hm²(N0)、150 kg/hm²(N1)、300 kg/hm²(N2)、450 kg/hm²(N3)),以秸秆还田不施氮肥(N0)为对照,研究了秸秆还田配施不同纯氮水平对土壤有机碳氮含量、微生物量碳氮含量和酶活性及其对玉米生长的影响。结果表明,秸秆还田配施氮肥有利于耕层土壤有机碳和全氮含量的提高,随施氮量的增加,土壤碳氮比降低,其中以N2和N3处理对提高耕层有机碳氮含量效果最佳。秸秆还田条件下土壤微生物量碳氮比随施氮量的增加而降低,N2处理对微生物量碳含量、N3处理对微生物量氮含量的提高作用最为显著。秸秆还田配施氮肥能显著提高土壤脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性,以N2和N3处理的改善效果较优。秸秆还田配施氮肥对玉米前期生长影响不显著,而N2处理对中外后期玉米生长具有显著促进作用。2年玉米籽粒产量以N2处理增产效果最佳,平均较N0处理提高22.0%。通过2年研究结果表明,在宁夏扬黄灌区实施秸秆还田配施氮肥措施可增加土壤有机碳氮含量,调节土壤碳氮比,促进玉米生长,进而提高玉米产量,以秸秆还田配施纯氮300 kg/hm²效果最佳。

关键词: 秸秆还田; 氮肥; 土壤有机碳氮; 土壤微生物量碳氮; 土壤酶活性; 玉米生长

中图分类号: S147.35; S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)09-0238-09

Effects of Straw Returning with Nitrogen Application on Soil Carbon, Nitrogen Content and Maize Growth

HOU Xianqing LI Rong WU Pengnian LI Peifu WANG Xi'na
(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to define the optimum application rate of nitrogen fertilizer under the condition of straw returning in Yanghuang Irrigation Area of Ningxia, the treatment with no straw returning (N0) as the control, the effects of different nitrogen application rates (0 kg/hm² (N0), 150 kg/hm² (N1), 300 kg/hm² (N2) and 450 kg/hm² (N3)) on soil organic carbon and nitrogen, microbial biomass carbon and nitrogen content, soil enzyme activity, and maize growth were investigated. The results showed that the straw returning with an optimum application rate of nitrogen was useful for increasing soil organic carbon and total nitrogen at 0 ~ 40 cm layer, and the contents of soil organic carbon, total nitrogen with N2 and N3 were significantly increased, compared with N0. The ration of carbon to nitrogen was decreased with the increase of application rate of nitrogen under the condition of straw returning. The treatment with straw returning and nitrogen application significantly increase the soil microbial biomass carbon and nitrogen compared with straw returning and no nitrogen fertilizer treatment, and the ratio of microbial biomass carbon to microbial biomass nitrogen was decreased with the increase of nitrogen application rate. The improvement effects of soil microbial biomass carbon with N2 and soil microbial biomass nitrogen with N3 were the most significant. Straw returning with nitrogen application could significantly improve the activities of soil urease, catalane, alkali-phosphata, and sucrase, and the improvement effect of soil enzyme activities with N2 and N3 were the best. The effect of N2 on maize growth at middle-and-late stages were great, while it had no effects on maize growth at early stage. The maize grain yield and water use efficiency

收稿日期: 2018-03-18 修回日期: 2018-04-28
基金项目: 国家自然科学基金项目(31760370)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD22B05-03)和宁夏青年科技人才托举工程项目(科协发组字[2017]76号)
作者简介: 侯贤清(1981—),男,副教授,主要从事农田水肥高效利用研究,E-mail: houxianqing1981@126.com
通信作者: 李荣(1984—),女,副教授,主要从事土壤培肥研究,E-mail: lirong_mail@126.com

enhancement were the highest under N2. The 2-year mean maize grain yields with N2 were significantly increased by 22.0%, compared with N0. The 2-year results indicated that straw returning with application of nitrogen can increase the soil organic carbon and total nitrogen contents, regulate the ration of carbon to nitrogen, increase the soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activity, thus improving maize growth and grain yield in Yanghuang Irrigation Area of Ningxia. The straw returning with application of pure nitrogen of 300 kg/hm² was the best.

Key words: straw returning; nitrogen; soil organic carbon and nitrogen; soil microbial biomass carbon and nitrogen; soil enzyme activity; maize growth

0 引言

作物秸秆是一种重要的可供开发利用的生物资源,其综合利用对稳定农业生态平衡、促进农民增产增收、缓解能源与环境压力具有重要作用^[1]。大量作物秸秆被弃置或露天焚烧,不仅浪费资源,而且会造成一定的环境污染^[2]。随着机械化程度的提高,秸秆还田作为提高土壤肥力和改善土壤生态环境的一项重要措施已得到广泛认可^[3]。秸秆的质量是影响秸秆还田后氮素矿化的重要因子,作物秸秆碳氮比较高,还田后往往造成对土壤氮素的固持^[4],而秸秆还田配施一定量的氮肥常作为耕作管理的一种有效措施。秸秆还田基础上额外施用氮肥后土壤碳氮比降低,有利于促进微生物的增殖及分解更多的有机质,并且能够提高土壤微生物量碳氮含量和酶活性^[5],进而增加土壤有机质中碳的分解与释放及土壤氮素的矿化^[6]。但若在农业生产中为追求作物高产,氮肥施用量越来越大,不仅增加了生产成本还会造成土壤污染^[7]。因而如何将氮肥施用和秸秆还田措施有机结合,更好地培肥土壤,提高旱区土地生产力,是目前旱地农业生产中值得研究的重要课题。

秸秆还田后能供给作物生长所需的养分,提高土壤养分的含量,同时有利于更新和增加土壤有机质^[8],同时粉碎秸秆连续还田后还能显著提高作物的籽粒产量,效果较秸秆覆盖还田措施显著^[9]。然而,秸秆还田极易造成土壤碳氮比失调、秸秆分解与苗争氮的现象,对玉米生长和产量不利^[10]。前人研究结果表明,秸秆还田下作物产量与施氮量呈二次抛物线关系,随施氮量的增加,作物产量逐渐增加,但超过一定施氮量时,产量反而下降^[11-12]。可见,秸秆还田与氮肥合理施用决定于有机肥施用和秸秆还田状况,以维持土壤-作物体系中氮素投入和输出平衡^[13]。秸秆还田配施氮肥还有助于提高氮素的利用效率^[14],然而秸秆还田条件下的合理配施氮肥才能提高土壤氮素供应能力^[15]。秸秆还田后添加氮肥可促进秸秆降解,提高无机氮含量和土壤微生物生物量,以弥补秸秆降解过程中土壤微生物对氮

素的固持,从而保证氮素的供给^[16]。

目前,对于秸秆还田下施用氮肥对作物产量、土壤肥力和微生物等方面的研究已有许多报道^[17-18],然而在不同土壤类型及气候条件下,秸秆还田补施氮肥调节碳氮比对土壤碳氮含量、作物生长和土壤微生物、酶活性的影响并不相同^[5,19],对宁夏扬黄灌区秸秆还田后的最佳施氮量,以及秸秆还田后土壤的培肥效应及玉米生长与土壤微生物、酶活性的响应特征研究较少。为此,针对宁夏扬黄灌区土壤瘠薄、肥力低下等问题,在玉米秸秆全量还田条件下设置不同施氮水平,研究秸秆还田配施氮肥对土壤有机碳氮含量、微生物量碳氮含量和酶活性及玉米生长和产量的影响,旨在为该区推行秸秆还田技术的可行性、合理施氮量和培肥土壤环境提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

本试验于2016年4月—2017年10月在宁夏旱作节水高效农业科技园进行。该园区位于宁夏同心县王团镇(36°51'N, 105°59'E),属中温带干旱大陆性气候,海拔约1 200 m,干旱少雨,年降水量150~300 mm,年际变率大,无霜期120~218 d,年平均气温8.6℃,水分蒸发强烈。2016年玉米生育期(4—9月)降水量为146.4 mm,2017年玉米生育期降水量为297.2 mm(表1)。试验地土壤质地为砂壤土,0~40 cm层土壤有机质质量比为8.2 g/kg,碱解氮质量比38.3 mg/kg,速效磷质量比16.1 mg/kg,速效钾质量比198.0 mg/kg,pH值8.4,属低等肥力水平。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,在玉米秸秆全量还田条件下,设4种纯氮施用水平:N0(0 kg/hm²)、N1(150 kg/hm²)、N2(300 kg/hm²)、N3(450 kg/hm²),以秸秆还田不施氮肥处理(N0)为对照,4个处理,3个重复,共12个小区,小区面积为7 m×7 m=49 m²。试验所用玉米秸秆有机养分质量比分别为有机质705.8 g/kg、全氮12.0 g/kg、全磷2.6 g/kg、全钾12.7 g/kg。试验处理具体操作如下:

表 1 玉米不同生育期降水、灌水和追肥情况

Tab.1 Precipitation, irrigation and top-dressing status during growing stage of maize

生育时期	2016 年			2017 年		
	灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)	降水量/mm	追肥(N)量/(kg·hm ⁻²)	灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)	降水量/mm	追肥(N)量/(kg·hm ⁻²)
生育前期	1 200	66.4	90	1 500	80.2	90
生育中期	1 800	34.3	60	1 800	184.1	60
生育后期	1 500	45.7		975	32.9	

将前一年收获后的玉米秸秆切碎成 3 ~ 5 cm 小段,春播前各处理施入基肥纯牛粪(有机养分质量比分别为有机质 769.2 g/kg、全氮 23.0 g/kg、全磷 16.3 g/kg、全钾 22.4 g/kg)1.0 t/hm²、磷酸二铵(总养分大于等于 64%,N 18%,P₂O₅ 46%)150 kg/hm²,各处理均按秸秆全量进行翻压还田(翻压深度 20 cm),还田量为 9 000 kg/hm²,同时在施氮肥处理中分别施入 3 种不同纯氮用量(尿素 N 大于等于 46%)。

玉米供试品种为先玉 335,分别于 2016 年 5 月 8 日和 2017 年 4 月 11 日播种,2016 年 9 月 30 日和 2017 年 10 月 6 日收获。玉米宽窄行种植,宽行距 70 cm,窄行距 40 cm,株距 20 cm,种子播深 5 ~ 10 cm,种植密度 90 955 株/hm²。试验期降雨量由雨量器连续定位观测记录。玉米生育期灌水量、降水量及追施纯氮量如表 1 所示,2016 年玉米生育期灌溉方式为畦灌,每个生育阶段隔 20 d 以相同灌水量分 3 次灌入,采用人工追肥;2017 年灌溉方式为滴灌,每个生育阶段隔 20 d 以相同灌水量分 3 次灌入,水肥一体化追肥,生育期人工除草。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤有机碳含量和全氮含量

试验处理前(4 月底)、2016 年和 2017 年玉米收获期(10 月初),每个处理选取 3 点,每 20 cm 采一样,测定 0 ~ 40 cm 层平均土壤有机碳含量和全氮含量。其中,土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化法测定,全氮含量采用凯氏定氮法测定。

1.3.2 土壤微生物量碳、氮含量

试验处理前、2016 年和 2017 年玉米收获期,每个处理选取 3 点,每 20 cm 采一样,采集 0 ~ 40 cm 新鲜土样,装在灭菌后的塑料袋中,带回实验室于 4℃ 冰箱保存,分层混匀后过 2 mm 筛,测定 0 ~ 40 cm 耕层平均土壤微生物量碳、氮含量和土壤酶活性。土壤微生物量碳、氮含量采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取方法测定,微生物量碳、氮含量以熏蒸和未熏蒸土壤有机碳、氮含量之差除以 *k*_{EC} (0.45) 和 *k*_{EN} (0.38) 得到。

1.3.3 土壤酶活性

土壤脲酶活性(按 NH₃-N 质量计)采用靛酚蓝

比色法测定,单位为 mg/(g·(24 h));过氧化氢酶活性(按 KMnO₄ 体积计)采用高锰酸钾滴定法测定,单位为 mL/(g·(20 min)),碱性磷酸酶活性(按酚质量计)采用磷酸苯二钠比色法测定,单位为 mg/(g·(24 h));蔗糖酶活性(按葡萄糖质量计)采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,单位为 mg/(g·(24 h))。

1.3.4 玉米生长指标及产量

在玉米生育前期、中期和后期,每处理选取 3 个点,每点选取长势均匀一致的 3 株玉米,定株监测植株株高、茎粗;同时,每处理选取长势均匀一致的 3 株玉米,测定其地上部生物量。玉米收获期,每个处理选取 3 点,每点收获 3 m 双行果穗,脱粒,干燥,称量。籽粒产量以 14% 含水率计算。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2003 制图,SAS 8.0 进行方差分析,并用 LSD 法(*P* < 0.05)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田配施氮肥对土壤有机碳氮含量的影响

秸秆还田增施氮肥可增加耕层土壤有机碳含量和全氮含量,与处理前相比,玉米收获期施氮各处理耕层土壤有机碳含量和全氮含量均显著增加,2016 年增幅为 7.2% ~ 13.9%,2017 年增幅为 3.1% ~ 16.7%(表 2)。2016 年 N2 处理 0 ~ 40 cm 层土壤有机碳含量较 N0 处理(对照)显著增加 12.9%,而 N1、N3 处理与 N0 处理无显著差异;2017 年 N2 和 N3 处理耕层土壤有机碳含量分别较 N0 处理显著增加 13.7% 和 15.0%,而 N1 与 N0 处理无显著差异。2 年研究期间,秸秆还田下 0 ~ 40 cm 耕层土壤全氮含量均随施氮量的增加而增加,以 N3 处理最高,N1、N2 和 N3 处理平均土壤全氮含量分别显著高于 N0 处理 19.7%、31.3% 和 36.0%,但 N2 与 N3 处理间差异不显著。

氮素的矿化和非移动性的转换大部分依赖于碳氮比,秸秆还田条件下配施氮肥可调节土壤碳氮比(C/N)。与处理前相比,2 年玉米收获期各处理耕层土壤碳氮比均显著降低,降幅为 8.1% ~ 26.6%,各施氮处理的土壤碳氮比随施氮量的增加而降低,以 N3 处理最低。2016 年 N3 与 N2 处理差异不显

著,N1 和 N2 处理差异不显著,N1、N2 和 N3 处理土壤碳氮比分别较 N0 处理显著降低 10.6%、14.3% 和 20.0%;2017 年 N1、N2 和 N3 处理间无差异,均显著低于 N0 处理,降幅为 13.3%~16.5%。

表 2 秸秆还田配施氮肥对耕层(0~40 cm)土壤碳氮比的影响
Tab.2 Effects of straw returning with nitrogen application on soil C/N at 0~40 cm layer

年份	处理	有机碳质量比/(g·kg ⁻¹)	全氮质量比/(g·kg ⁻¹)	碳氮比
2016	处理前	(4.54±0.23) ^c	(0.403±0.02) ^c	(11.26±0.94) ^a
	N0	(4.58±0.16) ^c	(0.443±0.03) ^c	(10.34±0.58) ^b
	N1	(4.86±0.45) ^b	(0.526±0.06) ^b	(9.24±0.67) ^c
	N2	(5.17±0.28) ^a	(0.583±0.02) ^a	(8.86±0.42) ^{cd}
	N3	(4.92±0.42) ^{ab}	(0.595±0.10) ^a	(8.27±0.53) ^d
2017	N0	(4.61±0.20) ^b	(0.455±0.06) ^c	(10.12±0.35) ^a
	N1	(4.98±0.32) ^{ab}	(0.549±0.02) ^b	(9.07±0.84) ^b
	N2	(5.24±0.16) ^a	(0.596±0.12) ^{ab}	(8.79±0.77) ^b
	N3	(5.30±0.41) ^a	(0.626±0.05) ^a	(8.47±0.54) ^b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05),下同。

2.2 秸秆还田配施氮肥对土壤微生物量碳氮含量及酶活性的影响

从表 3 可以看出,2016 年玉米收获期秸秆还田配施氮肥各处理与试验处理前相比,土壤微生物量碳、氮含量均有不同程度提高,而秸秆还田不施氮肥处理(对照)均有不同程度降低。不同氮肥施用量各处理土壤微生物量碳、氮含量均显著高于对照处理,且微生物碳含量由大到小表现为 N2、N3、N1、N0,微生物氮含量由大到小表现为 N3、N2、N1、N0。与 N0 处理相比,N2 处理对微生物量碳含量、N3 处理对微生物量氮含量的提高作用最佳,分别显著提高 28.6% 和 34.2%;N1 和 N3 处理土壤微生物量碳含量分别较 N0 处理显著提高 13.0%、19.7%,N1 和 N2 处理土壤微生物量氮含量分别显著提高 12.8%、28.5%。经过两季秸秆还田后,2017 年各处理土壤微生物量碳、氮含量均较 2016 年明显提高,其微生物碳含量由大到小表现为 N2、N3、N1、N0,微生物氮含量由大到小表现为 N3、N2、N1、N0。

N2 和 N3 处理土壤微生物量碳含量分别较 N0 处理显著提高 15.6% 和 12.2%,N1 与 N0 处理无显著差异;N1、N2 和 N3 处理土壤微生物量氮含量分别较 N0 处理显著提高 13.7%、27.3% 和 30.4%。2 年研究期间,各处理微生物量碳氮比的范围在 7.32~9.05 之间,且不同年份各施氮处理土壤微生物量碳氮比均随施氮量和还田年限的增加而降低。秸秆还田配施氮肥各处理的微生物量碳氮比无差异,均高于试验处理前,低于对照处理。

如表 3 所示,经过第 1 年和第 2 年秸秆还田后,2 年玉米收获期秸秆还田配施氮肥各处理土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性均高于 2016 年试验处理前。N2 和 N3 处理土壤酶活性较 N0 处理显著提高,而 N0 处理与试验处理前相比,提高过氧化氢酶活性,降低脲酶活性。N1、N2 和 N3 处理均较 N0 显著提高土壤脲酶活性,2016 年分别提高 33.3%、54.8% 和 42.9%,2017 年分别提高 25.0%、38.3% 和 30.0%;N2 和 N3 处理土壤过氧化氢酶活

表 3 秸秆还田配施氮肥对耕层(0~40 cm)土壤微生物量碳氮含量及酶活性的影响
Tab.3 Effects of straw returning with nitrogen application on soil microbial biomass carbon C, N and enzyme activities at 0~40 cm layer

年份	处理	微生物量碳质量比/ (mg·kg ⁻¹)	微生物量氮质量比/ (mg·kg ⁻¹)	微生物量 碳氮比	脲酶活性/ (mg·(g· (24 h)) ⁻¹)	过氧化氢酶活性/ (mL·(g· (20 min)) ⁻¹)	碱性磷酸酶活性/ (mg·(g· (24 h)) ⁻¹)	蔗糖酶活性/ (mg·(g· (24 h)) ⁻¹)
2016	处理前	(148.36±8.75) ^c	(20.25±5.32) ^b	(7.32±0.86) ^a	(0.64±0.05) ^a	(4.36±0.22) ^c	(0.63±0.05) ^c	(2.30±0.53) ^b
	N0	(142.18±12.49) ^c	(16.71±3.92) ^c	(9.05±0.89) ^a	(0.42±0.05) ^d	(4.45±0.48) ^c	(0.52±0.05) ^c	(2.11±0.52) ^b
	N1	(160.64±10.23) ^b	(18.85±5.45) ^{bc}	(8.52±0.68) ^a	(0.56±0.02) ^c	(4.87±0.31) ^{bc}	(0.75±0.06) ^b	(3.04±0.38) ^a
	N2	(182.83±15.68) ^a	(21.47±4.45) ^{ab}	(8.19±1.34) ^a	(0.65±0.01) ^a	(5.79±0.63) ^a	(0.90±0.03) ^a	(3.54±0.65) ^a
	N3	(170.25±13.68) ^{ab}	(22.42±2.73) ^a	(7.59±0.81) ^a	(0.60±0.03) ^{ab}	(5.06±0.42) ^b	(0.86±0.01) ^{ab}	(3.26±0.49) ^a
2017	N0	(165.18±14.25) ^b	(19.06±3.54) ^c	(8.66±0.96) ^a	(0.60±0.10) ^c	(4.92±0.24) ^c	(0.58±0.03) ^c	(2.65±0.47) ^b
	N1	(175.64±12.57) ^b	(21.67±4.62) ^{bc}	(8.11±0.68) ^a	(0.75±0.04) ^b	(5.24±0.24) ^{bc}	(0.82±0.07) ^b	(3.54±0.68) ^a
	N2	(190.83±17.42) ^a	(24.26±3.78) ^{ab}	(7.87±1.26) ^a	(0.83±0.03) ^a	(6.26±0.56) ^a	(0.94±0.05) ^a	(4.16±0.56) ^a
	N3	(185.25±15.25) ^{ab}	(24.85±3.64) ^a	(7.45±1.11) ^a	(0.78±0.12) ^{ab}	(5.58±0.38) ^b	(0.88±0.02) ^{ab}	(3.82±0.49) ^a

性 2016 年分别较 N0 处理显著提高 30.1% 和 13.7%,2017 年分别较 N0 处理显著提高 27.2% 和 13.4%,而 N1 和 N0 处理 2 年研究期间对土壤过氧化氢酶活性提高作用不显著;与 N0 处理相比,N1、N2 和 N3 处理土壤碱性磷酸酶活性 2016 年分别显著提高 44.2%、73.1% 和 65.4%,2017 年分别显著提高 41.4%、62.1% 和 51.7%;N1、N2 和 N3 处理土壤蔗糖酶活性 2016 年较 N0 处理分别显著提高 44.1%、67.8% 和 54.5%,2017 年分别显著提高 33.6%、57.0% 和 44.2%。由此可见,秸秆还田配施氮肥能提高土壤脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶活性,秸秆还田配施中氮肥处理的土壤酶活性明显高于低氮肥处理,但高氮肥处理的酶活性却低于中氮肥处理。

2.3 秸秆还田配施氮肥对玉米生长的影响

玉米生育期植株株高呈先增高后趋于平缓的变化趋势,在玉米生育中后期秸秆还田配施氮肥各处理下玉米株高均显著高于秸秆还田不施氮肥(对照)(图 1a、1d)。玉米生育前期,2 年研究期间秸秆还田配施不同氮肥用量各处理间差异不显著,而到玉米生育中后期,秸秆还田下不同氮肥施用量处理间差异显著,N1、N2 和 N3 处理 2 年平均株高分别较 N0 处理显著增加 11.1%、13.5% 和 10.1%。如图 1b、1e 所示,在玉米生育前期秸秆还田与氮肥配施条件下,2016 年植株茎粗随施氮量的增加而增加,2017 年植株茎粗随施氮量的增加而降低。N1、

N2 和 N3 处理与 N0 处理差异显著。生育中后期,由于降雨较多,秸秆还田配施氮肥处理能保蓄较多的土壤水分,使 2 年研究期间施氮各处理间玉米茎粗显著高于不施氮处理。N1、N2 和 N3 处理玉米整个生育期平均茎粗分别较 N0 处理显著增加 15.1%、15.4% 和 11.5%。

在玉米主要生育时期各处理地上部生物量呈逐渐上升的趋势(图 1c、1f)。在玉米中后期,秸秆还田配施氮肥各处理地上部生物量均高于对照,尤其以 N2 处理表现最为显著。玉米生长前期,2016 年植株地上部生物量各处理间差异均不显著,2017 年植株地上部生物量 N1 和 N2 显著高于 N0 处理。生育中后期,2016 年各处理地上部生物量由大到小为 N2、N3、N1、N0,N1、N2 和 N3 处理与 N0 处理差异显著,而 N1、N2 和 N3 处理间差异均不显著;2017 年各处理地上部生物量由大到小为 N2、N1、N3、N0,N1、N2 和 N3 处理与 N0 处理差异显著,而 N1 和 N2、N1 和 N3 处理差异不显著。N1、N2 和 N3 处理 2 年平均植株地上部生物量分别较 N0 处理显著增加 19.3%、24.7% 和 16.0%,分析其原因主要是玉米生育前期还田处理秸秆腐解与作物争夺土壤中的氮素,且气候较为干旱,扰动土壤不利于保水所致,中后期生长受秸秆还田、土壤水分和氮肥共同作用,处理间差异显著。施中量氮比施高量氮略大,这主要由于在较干旱条件下,高施氮肥对玉米茎粗的生长起负作用。

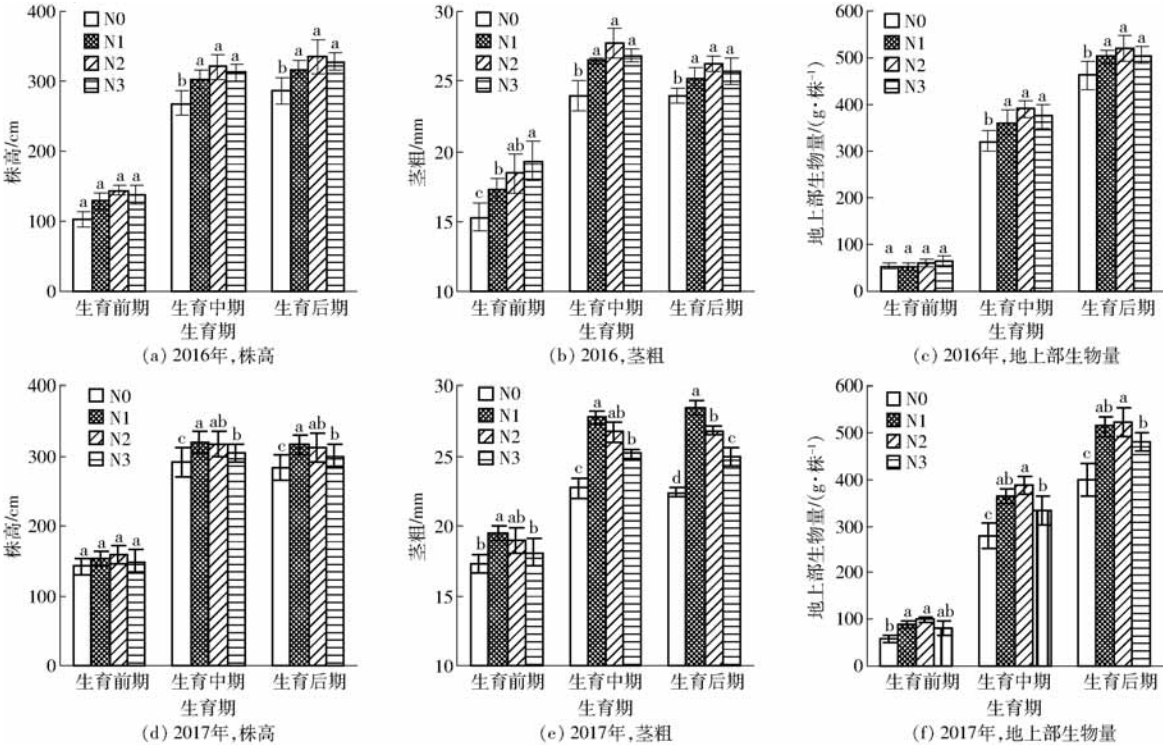


图 1 秸秆还田配施氮肥对玉米生长指标的影响

Fig. 1 Effects of straw returning with nitrogen application on maize growth index

2.4 秸秆还田配施氮肥对玉米产量的影响

秸秆还田配施不同氮肥用量对作物产量的影响不同。由图2可知,秸秆还田配施氮肥能改善土壤肥力状况,从而提高玉米的籽粒产量。2年各处理玉米产量年际间表现为2016年大于2017年,这可能与2年玉米各生育时期的降雨分布有关,同时还与当年的灌水方式有关。不同年份各处理玉米籽粒产量存在显著差异,N2处理2年玉米产量均显著高于N0处理(对照)。2016年各处理玉米产量由大到小为N2、N3、N1、N0,增产效果以N2处理最为显著,N3处理次之,分别较N0处理增加32.1%、23.7%,而N1处理玉米籽粒产量与N0处理差异不显著;2017年各处理玉米产量由大到小表现为N2、N1、N3、N0,增产效果以N2处理最佳,较N0处理显著增产11.8%,而N1和N3处理玉米籽粒产量与N0处理差异不显著。综合2年试验研究结果表明,N2处理玉米增产效果最高,玉米平均籽粒产量较N0处理提高22.0%。

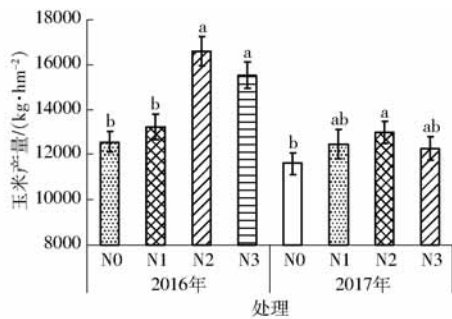


图2 秸秆还田配施氮肥措施下玉米籽粒产量
Fig.2 Grain yield of maize under straw returning with nitrogen application

3 讨论

3.1 土壤有机碳氮含量

秸秆还田配施化肥既有利于土壤有机碳的积累^[20-21],还可提高土壤氮素的供应能力^[14]。适宜的秸秆与氮肥配施对土壤碳氮的固持和供给效果较好,有利于增强土壤微生物固定碳氮的能力^[22]。有研究认为,稻麦轮作区秸秆还田能够显著提高土壤有机碳含量^[23]。秸秆还田条件下土壤有机质含量随施氮量增加而增加^[16]。秸秆还田施无机氮调节碳氮比,碳氮比越低土壤无机氮含量越高^[5]。本研究结果表明,秸秆还田配施氮肥能有效提高土壤有机碳、全氮含量,其中以秸秆还田配施300 kg/hm²氮肥处理表现最佳。分析其原因是由于秸秆还田配施氮肥后可使土壤碳氮比降低,更有利于促进微生物的增殖及分解更多的有机质,进而增加土壤有机质中碳的分解与释放及土壤氮素的供给^[5-6]。

3.2 土壤微生物量碳氮含量和酶活性

土壤微生物量碳氮能反映土壤有效养分状况和生物活性,在很大程度上反映土壤微生物数量,常受施肥、耕作等技术措施的影响^[17]。氮肥管理可增加秸秆还田前期无机氮固持,而后期秸秆和微生物氮的矿化可增加无机氮供应^[20],但秸秆还田补施氮肥虽能增加土壤无机氮含量,但并未导致微生物量氮的提高^[5]。本研究结果表明,与不施氮肥处理相比,中量氮肥处理对微生物量碳、高量氮肥处理对微生物量氮的提高作用最明显,这是由于土壤微生物量碳氮含量与加入土壤的有机碳源的种类和数量有关,秸秆还田为土壤补充有机质,提高了土壤碳氮比,进而增强对氮的固持能力;秸秆还田配施氮肥具有很强的持水能力,可防止土壤氮素的挥发,土壤微生物量氮含量进而随之增加^[21]。土壤微生物量碳氮比可反映微生物群落结构信息,其显著的变化表明微生物群落结构变化,直接影响微生物量的高低^[23]。本研究表明,秸秆还田配施氮肥各处理土壤微生物量碳氮比无差异,而显著高于处理前和秸秆还田不施氮肥处理。这是由于秸秆还田为微生物提供了充足的碳源,配施中量氮肥调整了微生物量碳氮比,且具有较高有效利用性,促进微生物繁殖,从而增加土壤微生物量^[24]。

秸秆还田能激发土壤微生物活性,有利于土壤微生物的繁殖,可提高耕层土壤酶活性^[18,25]。秸秆还田施用无机氮肥,相比于秸秆还田不施氮肥,玉米收获期显著提高了土壤脲酶活性^[5]。本研究结果表明,秸秆还田配施氮肥能提高土壤脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶和蔗糖酶活性,秸秆还田配施中量氮肥土壤酶活性更高,但低氮肥和超氮肥处理的土壤酶活性低于中氮肥处理。这是由于在秸秆还田量一定的条件下,碳氮比调控在适宜的范围有利于提高土壤微生物生物量和微生物活性,而土壤微生物生物量的增加又会进一步提高包括土壤酶在内的分泌物数量^[21],从而提高土壤酶活性^[5]。

3.3 玉米生长指标及产量

秸秆还田下增施一定量的氮肥对土壤的肥力效应和对作物生长发育的促进效应大于单独秸秆还田措施^[26]。有研究报道,秸秆还田配施氮肥对玉米前期和中后期的生长影响差别较大,而对玉米早期生长有一定的负面作用,中后期秸秆还田配施氮肥呈现正效应^[27]。本研究也表明,秸秆还田配施氮肥不同用量对玉米生育中后期的生长促进效果显著,施中量氮肥优于施高量氮肥,这是由于在秸秆还田后,低氮肥施用量时,由于秸秆腐解过程中微生物会和作物发生竞争氮素,而当施氮量达到一定水平时这

种争氮现象会减弱,当秸秆腐解后,产生的有机物质使土壤肥力状况得到改善,从而促进作物的生长^[10]。

秸秆还田配施氮肥可培肥土壤环境,实现作物增产,但配施氮肥的量与研究的区域特征(气候、土壤类型等)、秸秆还田量等有关。高金虎等^[27]报道,在辽西风沙半干旱区农业生产中,建议秸秆还田量 6 000 ~ 9 000 kg/hm² 配施纯氮 420 kg/hm²,可达到较好效果。张亮等^[28]研究认为,在玉米秸秆全量还田(4 500 kg/hm²)条件下,关中平原冬小麦氮肥用量应控制在 175 ~ 262.5 kg/hm²。而吕艳杰等^[29]在高纬度黑土区提出,秸秆还田(6 000 kg/hm²)后配合中等用量氮处理(240 kg/hm²)玉米产量最高。本研究结果表明,在宁夏扬黄灌区进行秸秆还田(9 000 kg/hm²)配施中量氮 300 kg/hm²时能显著提高玉米产量,而配施中量氮(300 kg/hm²)增产效果高于配施高量氮(450 kg/hm²)和低量氮处理(150 kg/hm²),这是由于秸秆全量还田配施一定量氮肥后,可显著增加土壤碳氮含量,从而使土壤酶活性提高,加速土壤矿质养分和有机质养分的分解利

用,为玉米生长提供了充足的养分供应,最终使玉米的产量增加^[19],同时中量氮肥处理能够更好地调节土壤中的碳氮比,使作物充分利用土壤氮素^[30]。

4 结论

(1) 秸秆还田配施氮肥能有效提高土壤有机碳、全氮含量,调节土壤碳氮比,随施氮量的增加,土壤碳氮比降低,其中以秸秆还田配施纯氮 300、450 kg/hm²处理表现较佳。

(2) 秸秆还田配施氮肥能显著提高土壤微生物量碳氮含量和酶活性,其中秸秆还田配施纯氮 300 kg/hm²处理对土壤微生物量碳含量、秸秆还田配施纯氮 450 kg/hm²处理土壤微生物量氮含量的提高作用最为显著,秸秆还田配施纯氮 300 kg/hm²处理的土壤酶活性最高。

(3) 秸秆还田配施氮肥不同用量可提高玉米植株株高、茎粗和地上部生物量,尤其秸秆还田配施纯氮 300 kg/hm²处理对玉米生育中后期的生长促进效果显著。与秸秆还田不施氮肥处理相比,秸秆还田配施纯氮 300 kg/hm²处理的增产效果最佳。

参 考 文 献

- 1 王金武,唐汉,王金峰. 东北地区作物秸秆资源综合利用现状与发展分析[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(5):1-21. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170501&journalid=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.001.
WANG Jinwu, TANG Han, WANG Jinfeng. Comprehensive utilization status and development analysis of crop straw resource in Northeast China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5):1-21. (in Chinese)
- 2 甄丽莎,谷洁,高华,等. 秸秆还田与施肥对土壤酶活性和作物产量的影响[J]. 西北植物学报,2012,32(9):1811-1818.
ZHEN Lisha, GU Jie, GAO Hua, et al. Effect of straws, manure and chemical fertilizer on soil properties and crop yields[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012, 32(9):1811-1818. (in Chinese)
- 3 张静,温晓霞,廖允成,等. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3):612-619.
ZHANG Jing, WEN Xiaoxia, LIAO Yuncheng, et al. Effects of different amount of maize straw returning on soil fertility and yield of winter wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3):612-619. (in Chinese)
- 4 LI Tao, GE Xiaoying, HE Chun'e, et al. Mixing alfalfa straw and maize straw to enhance nitrogen mineralization, microbial biomass and enzyme activity: a laboratory study[J]. Agricultural Science & Technology (English edition), 2016, 17(8):1869-1874.
- 5 李涛,何春娥,葛晓颖,等. 秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(12):1633-1642.
LI Tao, HE Chun'e, GE Xiaoying, et al. Responses of soil mineral N contents, enzyme activities and crop yield to different C/N ratio mediated by straw retention and N fertilization[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(12):1633-1642. (in Chinese)
- 6 孙媛,任广鑫,冯永忠,等. 秸秆还田和施氮对土壤水热因子及呼吸速率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(3):146-152.
SUN Yuan, REN Guangxin, FENG Yongzhong, et al. Comprehensive influence of straw-returning and nitrogen fertilization on hydrothermal factors and soil respiration[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2015, 43(3):146-152. (in Chinese)
- 7 李有兵,李锦,李硕,等. 秸秆还田下减量施氮对作物产量及养分吸收利用的影响[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(1):79-84,152.
LI Youbing, LI Jin, LI Shuo, et al. Effects of reducing nitrogen application on crop yields, nutrients uptake and utilization with straw incorporation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(1):79-84, 152. (in Chinese)
- 8 刘世平,聂新涛,张洪程,等. 稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用分析[J]. 农业工程学报,2006,22(7):48-51.

- LIU Shiping, NIE Xintao, ZHANG Hongcheng, et al. Effects of tillage and straw returning on soil fertility and grain yield in a wheat-rice double cropping system[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(7): 48–51. (in Chinese)
- 9 余坤, 冯浩, 李正鹏, 等. 秸秆还田对农田土壤水分与冬小麦耗水特征的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 116–123. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141019&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.019.
- YU Kun, FENG Hao, LI Zhengpeng, et al. Effects of different pretreated straw on soil water content and water consumption characteristics of winter wheat[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 116–123. (in Chinese)
- 10 顾灿明, 郑险峰, 黄婷苗, 等. 秸秆还田配施氮肥对冬小麦产量及氮素调控的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(5): 48–53, 73.
- GU Chiming, ZHENG Xianfeng, HUANG Tingmiao, et al. Effects of straw returning combined with nitrogen fertilizer application on yield of winter wheat and nitrogen regulation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(5): 48–53, 73. (in Chinese)
- 11 白伟, 逢焕成, 牛世伟, 等. 秸秆还田与施氮量对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 玉米科学, 2015, 23(3): 99–106.
- BAI Wei, PANG Huancheng, NIU Shiwei, et al. Effects of straw incorporation and nitrogen rate on spring maize yield and soil physicochemical property[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(3): 99–106. (in Chinese)
- 12 张鑫, 隋世江, 刘慧颖, 等. 秸秆还田下氮肥用量对玉米产量及土壤无机氮的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(3): 279–284.
- ZHANG Xin, SUI Shijiang, LIU Huiying, et al. Effect of different application rate of nitrogen fertilizer under straw return on maize yield and inorganic nitrogen accumulation[J]. Agro-Environment and Development, 2014, 31(3): 279–284. (in Chinese)
- 13 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783–795.
- JU Xiaotang, GU Baojing. Status-quo, problem and trend of nitrogen fertilization in China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2014, 20(4): 783–795. (in Chinese)
- 14 霍竹, 付晋锋, 王璞. 秸秆还田和氮肥施用对夏玉米氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2005, 37(2): 202–204.
- HUO Zhu, FU Jinfeng, WANG Pu. Effects of application of N-fertilizer and crop residues as manure on summer maize N recovery rate[J]. Soils, 2005, 37(2): 202–204. (in Chinese)
- 15 汪军, 王德建, 张刚, 等. 连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 40–44.
- WANG Jun, WANG Dejian, ZHANG Gang, et al. Effects of different nitrogen fertilizer rate with continuous full amount of straw incorporated on paddy soil nutrients[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(5): 40–44. (in Chinese)
- 16 SINGH B, RENGEL Z. The role of crop residues in improving soil fertility [M]//MARSCHNER P, RENGEL Z. Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. Berlin Heidelberg: Springer, 2007: 183–214.
- 17 庞党伟, 陈金, 唐玉海, 等. 玉米秸秆还田方式和氮肥处理对土壤理化性质及冬小麦产量的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(11): 1689–1699.
- PANG Dangwei, CHEN Jin, TANG Yuhai, et al. Effect of returning methods of maize straw and nitrogen treatments on soil physicochemical property and yield of winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2016, 42(11): 1689–1699. (in Chinese)
- 18 韩新忠, 朱利群, 杨敏芳, 等. 不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 2192–2199.
- HAN Xinzhong, ZHU Liqun, YANG Minfang, et al. Effects of different amount of wheat straw returning on rice growth, soil microbial biomass and enzyme activity[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(11): 2192–2199. (in Chinese)
- 19 张雅洁, 陈晨, 陈曦, 等. 小麦-水稻秸秆还田对土壤有机质组成及不同形态氮含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(11): 2155–2161.
- ZHANG Yajie, CHEN Chen, CHEN Xi, et al. Effects of wheat and rice straw returning on soil organic matter composition and content of different nitrogen forms in soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(11): 2155–2161. (in Chinese)
- 20 赵士诚, 魏美艳, 仇少君, 等. 氮肥管理对秸秆还田下土壤氮素供应和冬小麦生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(2): 20–25.
- ZHAO Shicheng, WEI Meiyang, QIU Shaojun, et al. Effects of nitrogen fertilizer managements on soil nitrogen supply and winter wheat growth under straw return[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2017(2): 20–25. (in Chinese)
- 21 路怡青, 朱安宁, 张佳宝, 等. 免耕和秸秆还田对潮土酶活性及微生物量碳氮的影响[J]. 土壤, 2013, 45(5): 894–898.
- LU Yiqing, ZHU Anning, ZHANG Jiabao, et al. Effects of no-tillage and straw-return on soil enzyme activities and Microbial Biomass[J]. Soils, 2013, 45(5): 894–898. (in Chinese)
- 22 张静. 秸秆还田与氮肥互作对接茬麦田土壤碳氮的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- ZHANG Jing. The effect of maize straw returning and nitrogen fertilizer interaction on soil C and N in continuing cultivated wheat field[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2009. (in Chinese)
- 23 房焕, 李奕, 周虎, 等. 稻麦轮作区秸秆还田对水稻土结构的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 297–302. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180434&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.034.
- FANG Huan, LI Yi, ZHOU Hu, et al. Effects of straw incorporation on paddy soil structure in a rice-wheat rotation system[J/OL].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018,49(4):297–302. (in Chinese)
- 24 刘骁蒨,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.
LIU Xiaoqian,TU Shihua,SUN Xifa,et al. Effect of different fertilizer combinations and straw return on microbial biomass and nitrogen-fixing bacteria community in a paddy soil[J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(17):5210–5218. (in Chinese)
- 25 路怡青,朱安宁,张佳宝,等. 免耕和秸秆还田对土壤酶活性和微生物群落的影响[J]. 土壤通报,2014,45(1):85–88.
LU Yiqing,ZHU Anning,ZHANG Jiabao,et al. Effects of no-tillage and returning straw to soil on soil enzymatic activities and microbial population[J]. Chinese Journal of Soil Science,2014,45(1):85–88. (in Chinese)
- 26 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦—夏玉米轮作系统中干物质生产和水分利用效率的影响[J]. 作物学报,2014,40(10):1797–1807.
ZHAO Yali,GUO Haibin,XUE Zhiwei,et al. Effects of tillage and straw returning on biomass and water use efficiency in a winter wheat and summer maize rotation system[J]. Acta Agronomica Sinica,2014,40(10):1797–1807. (in Chinese)
- 27 高金虎,孙占祥,冯良山,等. 秸秆与氮肥配施对玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 东北农业大学学报,2011,42(11):116–120.
GAO Jinhu,SUN Zhanxiang,FENG Liangshan,et al. Effect of corn straw plus nitrogen fertilizer on growth and water use efficiency of maize[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2011,42(11):116–120. (in Chinese)
- 28 张亮,黄婷苗,郑险峰,等. 施氮对秸秆还田冬小麦产量和水分利用率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,41(1):50–54.
ZHANG Liang,HUANG Tingmiao,ZHENG Xianfeng,et al. Effects of nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of winter wheat planted in the croplands with straw returning[J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition),2012,41(1):50–54. (in Chinese)
- 29 吕艳杰,于海燕,姚凡云,等. 秸秆还田与施氮对黑土区春玉米田产量、温室气体排放及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报,2016,24(11):1456–1463.
LÜ Yanjie,YU Haiyan,YAO Fanyun,et al. Effects of soil straw return and nitrogen on spring maize yield,greenhouse gas emission and soil enzyme activity in black soils[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2016,24(11):1456–1463. (in Chinese)
- 30 高飞,崔增团,孙淑梅,等. 甘肃中东部旱区秸秆还田量对土壤水分、玉米生物性状及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(5):74–78.
GAO Fei,CUI Zengtuang,SUN Shumei,et al. Effects of straw returning on soil water,biological traits and yield of maize in the eastern arid region of Gansu[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2016,34(5):74–78. (in Chinese)