

不同施氮量对半干旱区还田玉米秸秆腐解及养分释放特征的影响

陈建英, 罗超越, 邱慧珍, 邓德雷, 张春红, 郭亚军, 张建斌

(甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃省畜禽废弃物资源化利用工程研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:为了揭示还田玉米秸秆在不同施氮水平下的腐解及养分释放特征,在马铃薯田间定位试验中,设置了6个不同施氮水平(T1:0 kg·hm⁻²;T2:75 kg·hm⁻²;T3:150 kg·hm⁻²;T4:225 kg·hm⁻²;T5:300 kg·hm⁻²;T6:375 kg·hm⁻²),研究其对还田玉米秸秆腐解及养分释放特征的影响。研究表明:还田玉米秸秆的腐解主要发生在前90 d,在此期间玉米秸秆腐解较快,T1~T6处理的玉米秸秆腐解率分别为37.3%、40.3%、44.8%、45.0%、50.8%、48.4%,以T5处理为最高,处理间差异显著($P<0.05$);同时,T1~T6处理的玉米秸秆碳、氮释放率分别为48.2%~56.6%、33.8%~44.4%,T5处理下秸秆的碳、氮释放率均显著高于其他处理($P<0.05$),而秸秆磷、钾的释放率分别为43.1%~49.2%、90.5%~93.0%,处理间无显著性差异。还田150 d后,玉米秸秆的腐解率为52.7%~55.8%,养分释放表现为K>C>P>N。综上所述,连续施氮可以显著促进还田玉米秸秆前期的腐解及碳氮的释放,但对磷钾的释放无明显影响,当施氮量为300 kg·hm⁻²时还田玉米秸秆的腐解效果最好。

关键词:玉米秸秆;腐解;施氮量;养分释放率;马铃薯田;地膜覆盖

中图分类号:S143.1;S153 **文献标志码:**A

Effects of application of different nitrogen levels on decomposition characteristics and nutrient release of returning straw

CHEN Jianying, LUO Chaoyue, QIU Huizhen, DENG Delei,
ZHANG Chunhong, GUO Yajun, ZHANG Jianbin

(College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science,
Gansu Agricultural University, Engineering Research Center of Livestock and Poultry Waste Resource
Utilization in Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In order to determine the decomposition dynamics and nutrient release of maize straw return under different nitrogen (N) application rates, a field experiment was conducted at Dingxi County in the Gansu Province of China. The experiment had six N treatments including no-N application (0 kg·hm⁻², T1), 75 kg·hm⁻² (T2), 150 kg·hm⁻² (T3), 225 kg·hm⁻² (T4), 300 kg·hm⁻² (T5), and 375 kg·hm⁻² (T6) with four replications. The 42.6 g of maize straw was incorporated into each of the treatments by nylon mesh bag method. Results from the experiment revealed that maize straw decomposition occurred within the first 90 days after returning into the soil and the decomposition rate increased rapidly during this period. The decomposition rate of corn straw was 37.3%, 40.3%, 44.8%, 45.0%, 50.8%, and 48.4% in T1~T6 treatments, respectively. Treatment T5 significantly ($P<0.05$) achieved the highest decomposition rate throughout the decomposition period. At the same time, the release rates of C and N of maize straw in T1~T6 treatments were 48.2%~56.6% and 33.8%~44.4%, respectively. The release rates of C and N of maize straw in T5 treatment were significantly higher than those in other treatments ($P<0.05$). However, the release rates of P and K were 43.1%~49.2% and 90.5%~93.0%, there was no significant

收稿日期:2019-02-03

修回日期:2019-05-26

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)(2015CB150501);国家重点研发计划项目(2017YFD0800200);国家自然科学基金(31360500)

作者简介:陈建英,(1992-),女,甘肃武威人,硕士研究生,研究方向为根际营养调控。E-mail:2561818544@qq.com

通信作者:邱慧珍(1961-),上海人,教授,博士生导师,主要从事根际调控与有机肥料的教学和科研工作。E-mail:hzqiu@gsau.edu.cn

difference among all the treatment ($P>0.05$). The rate of straw decomposition after 150 days ranged from 52.7% to 55.8%, and the nutrient release was ranked as $K>C>P>N$. In summary, the continuous application of different nitrogen rates significantly influenced straw decomposition rate and the release of carbon and nitrogen, however the release rates of phosphorus and potassium were not statistically significant. The T5 ($300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) had the greatest impact on decomposition.

Keywords: corn stalk; decomposition; nitrogen application rate; nutrient release rate; potato field; plastic film mulching

我国作为一个农业大国, 秸秆资源量丰富, 每年产生秸秆近 $9.0 \times 10^9 \text{ t}$, 占世界秸秆总产量的三分之一左右^[1-2], 其中绝大部分为禾谷类农作物秸秆^[3]。秸秆中含有丰富的矿质元素, 据估计, $9.0 \times 10^9 \text{ t}$ 秸秆中约含氮 $3.0 \times 10^6 \text{ t}$, 含磷 $7.0 \times 10^5 \text{ t}$, 含钾 $7.0 \times 10^6 \text{ t}$, 相当于我国目前化肥施用量的 1/4, 而且秸秆中含有大量微量元素^[4-5]。据统计, 2015 年全国秸秆综合利用率约为 80% 左右, 仍有 $2.0 \times 10^9 \text{ t}$ 左右的秸秆通过不同途径进行焚烧或废弃^[1]。随意丢弃的秸秆会将其上附着的病虫卵带入土壤或水体, 引起土传病害和水体污染; 而就地焚烧后产生超过 $5.0 \times 10^8 \text{ t}$ 的碳被排放到环境中, 给生态环境带来严重的危害^[6]。

目前我国作物秸秆的综合利用方式主要有肥料化、饲料化、能源化、材料化, 其中秸秆还田作为保护性耕作技术的核心内容, 不仅可以改善土壤理化性状, 还可以提高土壤有机质含量, 培肥地力, 是有效合理利用作物秸秆及改变土壤耕层结构的重要措施之一^[5,7-8]。秸秆降解后不仅可以释放大量的氮、磷、钾补充农作物的生长需求^[9], 还可以进入土壤碳循环, 增加土壤总有机碳储量^[10]。

秸秆还田是土壤有机培肥的主要方式, 其还田后的腐解过程由物理、化学和微生物作用共同参与, 其中, 土壤微生物活动起着决定性作用。微生物对物质的分解具有嗜性和优先性, 不同的作物秸秆其结构和组分不同, 其微生物分解特性也存在较大差异。因此, 作物秸秆本身的结构和组分是秸秆腐解的内在属性和决定因素; 土壤微生物的种类、数量及活性是外在动力, 易受到外界环境因素的影响^[11]。凡是能影响土壤微生物活动的因素就会对秸秆腐解产生影响。土壤影响微生物活动的

因素主要有土壤水分、温度、通气性和养分状况^[12-15]。其中水分和温度受环境影响较大, 而通气性和养分状况受人为影响较大, 尤其是养分状况。有研究^[15]得出, 中等肥力的土壤中还田秸秆矿化率最高, 在高肥力土壤中还田秸秆腐殖化效果最好。也有研究^[16]发现, 秸秆还田配施适量氮肥能显著增加土壤微生物量碳氮和有机碳含量, 提高土壤酶活性, 促进秸秆的分解。不同的农作物秸秆自身的组成成分和 C/N 不同, 导致还田后分解速度存在差异。因此, 可以通过添加适量的外源氮素调节 C/N, 促进还田秸秆的腐解和养分释放, 提高农作物产量和经济效益。

目前, 对还田秸秆矿化分解的研究多集中于秸秆的用量、类型和还田方式等条件下秸秆的分解状况及其养分释放特征, 而关于连续施氮条件下玉米秸秆的腐解特征还鲜有报道。因此本文采用尼龙网袋埋置法, 研究连续不同施氮水平下玉米秸秆的腐解及养分释放特征, 为该区合理利用秸秆资源与养分资源管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018 年 4—10 月在甘肃省定西市安定区香泉镇的定位试验点进行, 该定位试验点始于 2013 年 4 月。试验区海拔 2 053~2 556 m, 年平均气温 6.9°C , 年降水量 400 mm 左右, 年蒸发量 1 531 mm, 无霜期 140 d。该区土壤类型为黄绵土, 0~20 cm 土层土壤的基本理化性状见表 1 和表 2。供试玉米秸秆采自附近农户, 初始养分情况为有机碳 $423.67 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮为 $9.01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 $1.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全钾 $18.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, C/N 为 47.01。

表 1 土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of soil

容重 Bulk density /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	田间持水量 Field water holding capacity /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH	有机质 Organic matter /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮 Alkaline N /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷 Avail. P /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 Avail. K /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1.24	267	7.9	15.3	0.75	57.6	17.5	217.5

表 2 2018 年播种前 0~20 cm 土层土壤矿质氮含量/(mg·kg⁻¹)

Table 2 Mineral nitrogen content in 0~20 cm soil layer before sowing in 2018

矿质氮 Mineral nitrogen	处理 Treatment					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
NO ₃ ⁻ -N	14.97±1.19b	12.99±1.44b	16.86±1.62b	17.6±1.41b	29.21±2.04a	21.82±3.15ab
NH ₄ ⁺ -N	1.19±0.64a	1.44±0.89a	1.62±0.25a	1.41±0.47a	2.04±0.59a	3.15±1.41a

注:T1:不施氮肥(CK);T2:75 kg·hm⁻²;T3:150 kg·hm⁻²;T4:225 kg·hm⁻²;T5:300 kg·hm⁻²;T6:375 kg·hm⁻²。不同字母表示各处理在 P<0.05 水平差异显著。下同。

Note: T1: no nitrogen fertilizer (CK); T2: 75 kg·hm⁻²; T3: 150 kg·hm⁻²; T4: 225 kg·hm⁻²; T5: 300 kg·hm⁻²; T6: 375 kg·hm⁻². Different letters were significantly different among treatments at the P<0.05 level, the same below.

1.2 试验设计

田间试验设 6 个氮水平:T1:0 kg·hm⁻²;T2:75 kg·hm⁻²;T3:150 kg·hm⁻²;T4:225 kg·hm⁻²;T5:300 kg·hm⁻²;T6:375 kg·hm⁻²。N 肥用尿素(N,46%),P 肥用过磷酸钙(P₂O₅,16%),施用量为 225 kg·hm⁻²,K 肥用硫酸钾镁肥(K₂O,24%),施用量 292.5 kg·hm⁻²,所有肥料在播种时做基肥一次性施入。每处理重复 4 次,随机区组排列,小区面积为 7.2 m×6 m=43.2 m²,种植作物为马铃薯“青薯 9 号”,采用宽垄双行覆膜种植,开沟 0.1 m 后,沟施肥料起梯形垄,垄宽 1.0 m,沟宽 0.4 m,用点播器将原种整薯播种于 0.15 m 深处,每垄种植 2 行,行距 0.7 m,株距 0.2 m,种植密度为 76 500 株·hm⁻²,于 2018 年 5 月 1 日播种,10 月 11 日收获,在此期间采用滴灌模式进行灌溉,其余田间管理措施同当地大田。

试验采用尼龙网袋法,进行等量玉米秸秆腐解试验。马铃薯种植之后,在每个处理的试验地耕层(垄上,马铃薯种植行之间)5~10 cm 深处埋置装有 42.64 g(长度 5 cm 左右)玉米秸秆的尼龙网袋(25 cm×15 cm,100 目)共 15 个。每隔 30 d 取样一次,每个处理 3 次重复,共取样 5 次。

试验期间通过埋设的“watchdog”芯片对网袋埋置层进行土壤温度和水分测定,取其平均值作为当月秸秆还田层的温度和水分含量(表 3)。取样后,尼龙网袋用水冲洗干净,在 80℃ 条件下烘干称重,利用失重法计算秸秆腐解率。采用常规分析法^[17]测定秸秆有机碳含量及养分含量,有机碳含量用重铬酸钾容量法-外加加热法,全氮含量用 H₂SO₄-H₂O₂消煮-蒸馏法,全磷含量用钒钼黄比色法,全钾含量用火焰光度法测定,并计算养分释放率。

$$\text{腐解率}(\%) = (M_0 - M_t) / M_0 \times 100\%$$

$$\text{养分释放率}(\%) = (M_0 C_0 - M_t C_t) / M_0 C_0 \times 100\%$$

式中,M₀为秸秆初始干重(g);M_t为腐解时间为 t 时的干重(g);t 为腐解时间(d);C₀为秸秆原始养分含量,C_t为腐解时间为 t 时养分的含量。

表 3 秸秆还田层的温度和水分含量

Table 3 Temperature and moisture content of straw returning layer

项目 Item	还田时间 Return time/d				
	30	60	90	120	150
温度/℃ Temperature	19.40	20.14	19.57	17.65	13.35
水分/(m ³ ·m ⁻³) Moisture content	0.13	0.16	0.15	0.18	0.16

1.3 数据处理

本研究采用 SPSS 25 统计软件和 Duncan 法对数据进行处理及显著性检验。采用 Microsoft Excel 2016 软件进行图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量处理下的秸秆腐解特征

通过不同施氮水平下还田玉米秸秆的腐解率可以看出(表 4),玉米秸秆的腐解率随施氮量的增加先增加后减小,以 T5 处理的腐解率最高,并未表现出施氮量越高腐解率越高的趋势,这可能是由于适宜的氮素添加能够调节还田秸秆的 C/N,促进腐解微生物的生长,当氮素过量时会抑制微生物的活性,减弱其腐解能力。在还田 30 d 时,也就是马铃薯苗期,T1、T2 处理的腐解率分别为 13.46% 和 13.64%,显著低于其他施氮处理,说明不施氮或低施氮量不利于前期玉米秸秆的腐解。在还田前 90 d,玉米秸秆腐解率增加较快,T1~T6 处理的腐解率占总腐解率的比例分别为 70.87%、75.95%、84.48%、85.21%、91.05%、90.81%,说明在本实验条件下,无论施氮量高低,玉米秸秆的腐解主要发生在还田前 90 d,究其原因,可能是因为腐解后期随着易分解性有机物的逐渐减少,剩余部分为较难分解的有机物,且腐解后期土壤温度下降,微生物活性降低,不利于秸秆分解^[18]。还田 150 d 时,T1~T6 处理的玉米秸秆腐解率分别为 52.66%、53.02%、53.20%、52.79%、55.77%、53.34%,T5 处理显著高于其他处理,说明连续施氮量为 300 kg·hm⁻²时有利于玉米秸秆的腐解。

表 4 不同施氮水平下还田玉米秸秆的腐解率/%

Table 4 Decomposition rate of returning corn stalks under different nitrogen application levels

处理 Treatment	还田时间 Return time/d				
	30	60	90	120	150
T1	13.46±1.00c	24.41±1.92c	37.32±0.28c	46.62±1.56c	52.66±1.04b
T2	13.64±0.86c	25.97±0.31c	40.27±0.65c	47.80±0.25c	53.02±0.96b
T3	15.78±0.17b	30.40±0.25b	44.79±0.46b	48.07±0.53bc	53.20±0.61b
T4	16.88±0.20b	32.11±1.74ab	44.98±2.06b	50.44±1.43ab	52.79±0.66b
T5	19.89±0.51a	34.04±1.21a	50.78±0.74a	52.56±0.88a	55.77±1.03a
T6	17.04±0.20b	32.37±0.91ab	48.44±1.90a	51.72±0.68a	53.34±0.38b

注:同列不同字母表示各处理在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Note: The different letters in the same column indicate that each treatment is significantly different at $P<0.05$ level.

2.2 不同施氮量处理下的秸秆养分释放特征

不同施氮水平下还田玉米秸秆的碳素释放率见图 1。在秸秆腐解过程中,秸秆中的碳素呈持续释放状态,在玉米秸秆腐解前期,秸秆中碳素释放较快,随腐解时间的延长,碳素释放速度逐渐减缓。在还田前 90 d,也就是马铃薯块茎膨大期之前,各处理玉米秸秆的碳素释放率在总释放率中的占比均达到 80%以上,其中 T5 和 T6 处理的玉米秸秆碳素释放率分别为 56.60% 和 53.93%,显著高于 T1、T2 处理的 48.18% 和 50.63% ($P<0.05$),说明不施氮肥或低施氮量不利于腐解前期玉米秸秆碳素的释放,而高施氮量有利于腐解前期碳素的释放。经过 150 d 的腐解, T1~T6 处理的玉米秸秆碳素释放率分别为 59.29%、61.18%、61.40%、60.45%、64.12%、59.96%, T5 处理显著高于其他处理 ($P<0.05$)。

图 2 为不同施氮水平下还田玉米秸秆的氮素释放率。从整个腐解过程来看,玉米秸秆的氮素释放也呈逐渐增加的趋势,随腐解时间的延长,表现出前期快、后期慢的规律,且不施氮处理的玉米秸秆氮素释放率明显低于施氮处理,这与碳素释放规律一致。还田前 90 d,不施氮处理和施氮处理的玉米秸秆氮素释放率分别占整个腐解过程玉米秸秆氮素释放率的 80.45% 和 90.11%,处理间差异显著 ($P<0.05$),说明还田玉米秸秆的氮素释放主要发生在还田后的前 90 d,而且施氮处理可以促进腐解前期玉米秸秆氮素释放。还田 150 d 后,玉米秸秆氮素释放率为 T5 (47.89%) > T4 (47.33%) > T6 (46.70%) > T3 (45.88%) > T2 (44.56%) > T1 (42.06%),各处理之间无显著性差异 ($P>0.05$)。

不同施氮水平下还田玉米秸秆的磷素释放率如图 3 所示。随腐解时间的延长,玉米秸秆中磷素的释放与碳素和氮素的释放规律一致,呈现出先快

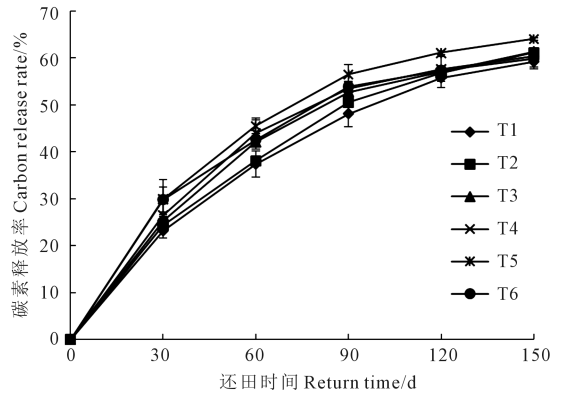


图 1 不同施氮水平下还田玉米秸秆的碳素释放率
Fig.1 Carbon release rate of returning corn stalks under different nitrogen application levels

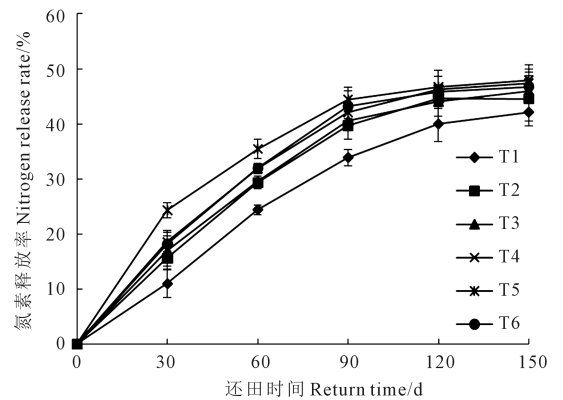


图 2 不同施氮水平下还田玉米秸秆的氮素释放率
Fig.2 Nitrogen release rate of corn stalks returned to the field under different nitrogen levels

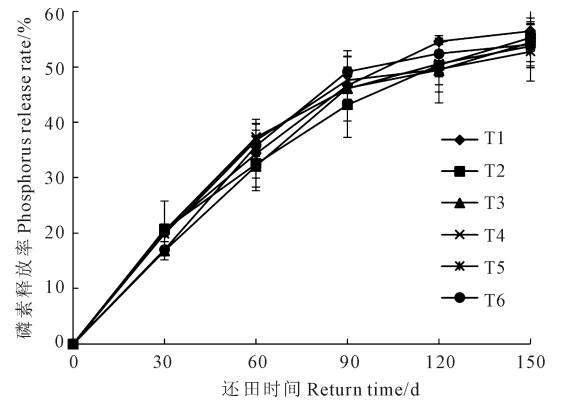


图 3 不同施氮水平下还田玉米秸秆的磷素释放率
Fig.3 Phosphorus release rate of corn stalks returned to the field under different nitrogen levels

后慢的整体趋势。还田前 90 d,玉米秸秆中磷素释放率为 43.12%~49.23%,其释放量占整个腐解期磷素释放总量的 75%以上,说明玉米秸秆磷素释放主要发生在还田前 90 d。经过 150 d 的腐解,玉米秸秆的磷素释放率为 52.76%~56.43%。秸秆中磷素的释放随施氮量变化不规律,原因可能与磷酸根离子

在土壤中迁移速度慢且迁移距离短、秸秆释放的磷仍部分吸附于秸秆上有关,但这一点仍有待进一步研究。

图 4 为不同施氮水平下还田玉米秸秆的钾素释放率。与碳、氮、磷素释放规律一致,玉米秸秆中钾素的释放也呈前期快、后期慢的特点。还田前 30 d 玉米秸秆中钾素快速释放;30~90 d,钾素释放缓慢;90 d 以后,玉米秸秆中钾素的释放趋于平稳。经过 150 d 的腐解,不施氮处理玉米秸秆钾素释放率为 93.72%,施氮处理钾素释放率为 91.41%~94.01%,各处理间无显著性差异($P>0.05$),说明施氮量对玉米秸秆钾素的释放没有显著性影响。秸秆中钾素释放率高于氮素和磷素的释放率,这可能是由于秸秆中的钾以离子形态存在,易溶于水,极易从秸秆中释放。

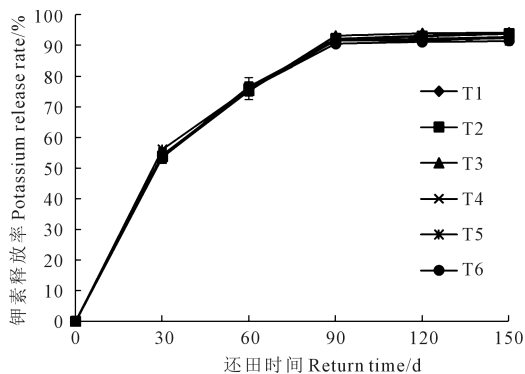


图 4 不同施氮水平下玉米秸秆的钾素释放率

Fig.4 Potassium release rate of corn stalk under different nitrogen levels

3 讨论

经过 150 d 的腐解,不施氮处理和施氮处理的玉米秸秆腐解率均为 53%左右。各处理玉米秸秆的腐解趋势基本一致,都呈现出前期快、后期慢的特点,这与前人研究^[19]结果一致。有研究显示,施氮处理抑制了还田秸秆的前期腐解^[20-21],而刘单卿^[22]通过对不同还田方式下小麦秸秆的腐解特征研究发现,配施氮肥可以促进小麦秸秆前期腐解,本研究得出相似结论,在快速腐解期(还田前 90 d)不施氮处理的腐解率显著低于施氮处理。庞荔丹^[23]通过研究玉米秸秆还田腐解率发现,增施氮肥能够促进玉米秸秆的腐解,且玉米秸秆腐解率随施氮量的增加而增加,这与王静静等^[24]的研究结果一致。赵建红^[25]通过水氮管理对还田秸秆的腐解影响研究发现,随施氮量的增加,还田秸秆的腐解率呈先增加后降低的趋势。本研究得出相似结论,施

氮量为 300 kg·hm⁻²时玉米秸秆腐解率最高,之后随施氮量的增加腐解率降低。这可能是因为适量的外源氮素添加调节了还田秸秆的 C/N,不仅为微生物的生长提供了充足的氮源,还促进了土壤中纤维素等一些碳水化合物水解酶的活性^[26],当氮素过量时会抑制微生物的活性,减弱其腐解能力。还田秸秆腐解过程中释放的碳,或参与土壤有机物的合成,或分解为 CO₂排放到大气中。整个腐解过程,玉米秸秆有机碳释放的变化规律与腐解率趋势基本一致,马铃薯生育期内玉米秸秆中约 61%的碳得到释放。

秸秆氮素释放与秸秆自身腐解呈近直线正相关,秸秆前期腐解量较大,故氮释放速率也较快^[11]。在玉米秸秆腐解前期(还田前 90 d),施氮处理的全氮释放率显著高于不施氮处理,且 T5 处理最高,说明施氮有利于秸秆前期氮素释放,这与张亮^[26]的研究结果一致。顾焱民^[27]通过施氮对关中灌溉区秸秆还田小麦生长及秸秆腐解规律影响的研究发现,施用氮肥有促进秸秆腐解及氮素释放的趋势,但差异不显著,这与本研究结果相似。张珊等^[28]的研究得出,还田秸秆的氮素释放随施氮量的增加而增加。本研究结果与之存在差异,氮素的释放随施氮量的增加先增加后减小,这与赵建红^[25]研究结果一致。氮肥的使用促进了玉米秸秆的腐解,促进了养分释放,另外也可能是外源氮素适量的添加对秸秆腐解过程中氮素的释放有一定的激发效应^[27]。施用氮肥对磷、钾的释放无显著性影响,有研究^[29-30]得出,施用氮肥对秸秆碳和干物质分解无显著影响,但可促进秸秆中磷的释放,抑制氮和钾的释放,这与本研究结果不一致。产生差异的原因可能是因为秸秆种类、土壤类型及气候和温度的不同。

秸秆腐解释放出丰富的氮、磷、钾及多种微量元素,可以补充作物生长过程中所需的营养元素。腐解 150 d 后,秸秆中氮、磷、钾的释放率分别为 42.1%~47.9%、52.8%~59.7%、91.4%~94.0%,养分释放率表现为:K>P>N,这与前人^[31-33]的研究结果一致。秸秆中营养元素的存在形态是决定其释放速度快慢的主要原因。秸秆中的钾含量高且以离子形态为主,易溶于水故而释放较快;秸秆中 60%的磷素以离子形态存在,剩余部分为难分解的有机磷,且秸秆中磷素含量低于钾含量。秸秆中的氮有一小部分是易分解的硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N),剩余的大部分都是一些难分解的有机氮,包括叶绿素、蛋白质(酶)、核酸及氨基化合物等,难分解的有机氮经微生物矿化为无机氮才能逐

渐释放,故而分解缓慢^[34-35]。

4 结 论

1) 玉米秸秆在还田后的前 90 d 腐解较快,而 90 d 后腐解缓慢;还田 150 d 后,各处理下玉米秸秆的腐解率均达 50% 以上。

2) 施氮可以显著促进还田玉米秸秆前期的腐解,且随施氮量的增加表现为先增加后降低的趋势,以施氮量为 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的腐解效果最好。

3) 施氮还可以显著促进还田前期玉米秸秆中碳、氮的释放,但对玉米秸秆中磷、钾的释放无明显影响。

参 考 文 献:

- [1] 蒋磊.农户对秸秆的资源化利用行为及其优化策略研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [2] 贾秀飞,叶鸿蔚.秸秆焚烧污染治理的政策工具选择——基于公共政策学、经济学维度的分析[J].干旱区资源与环境,2016,30(1):36-41.
- [3] 石祖梁,贾涛,王亚静,等.我国农作物秸秆综合利用现状及焚烧碳排放估算[J].中国农业资源与区划,2017,38(9):32-37.
- [4] 时连辉,韩国华,张志国,等.秸秆腐解物覆盖对园林土壤理化性质的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):113-117.
- [5] 胡乃娟,韩新忠,杨敏芳,等.秸秆还田对稻麦轮作农田活性有机碳组分含量、酶活性及产量的短期效应[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):371-377.
- [6] 李飞跃,汪建飞.中国粮食作物秸秆焚烧碳排放量及转化生物炭固碳量的估算[J].农业工程学报,2013,14(29):1-7.
- [7] 黄立强,赵竹青,刘新伟,等.秸秆深还对葡萄园土壤腐殖质组分及酶活性的影响[J].湖北农业科学,2017,56(19):3640-3645.
- [8] 郑永照,岳杨,董本春,等.玉米秸秆还田技术及其对农田土壤效应研究进展[J].农业科技通讯,2018,(2):44-46.
- [9] 余坤,冯浩,赵英,等.氮化秸秆还田加快秸秆分解提高冬小麦产量和水分利用效率[J].农业工程学报,2015,19:103-111.
- [10] Hammer beck A L, Stetson S J, Osborne S L, et al. Corn residue removal impact on soil aggregates in a no-till corn/soybean rotation [J]. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76(4):1390-1398.
- [11] 张经廷,张丽华,吕丽华,等.还田作物秸秆腐解及其养分释放特征概述[J].核农学报,2018,32(11):2274-2280.
- [12] 王凌,郝桂琴,何玲,等.不同水氮条件下不同微生物腐解剂对玉米秸秆腐解效果研究[C]//2013 中国环境科学学会学术年会论文集(第八卷).昆明:中国环境科学学会,2013:6.
- [13] 匡恩俊,迟凤琴,张久明,等.不同条件下有机物料在黑土中分解规律的研究[J].中国农学通报,2010,26(7):152-155.
- [14] 王景.厌氧和好气条件下作物秸秆的腐解特征研究[D].合肥:安

徽农业大学,2015.

- [15] 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].工程农业学报,2009,25(10):252-259.
- [16] 孟祥萍,韩清芳.秸秆全量还田下施氮量对微生物碳氮及土壤酶活性的影响[C]//中国农学会耕作制度分会 2018 年度学术年会论文集摘要集.哈尔滨:中国农学会耕作制度分会,2018:1.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:68-298.
- [18] 龚振平,邓乃榛,宋秋来,等.基于长期定位试验的松嫩平原还田玉米秸秆腐解特征研究[J].农业工程学报,2018,34(8):139-145.
- [19] 岳丹,蔡立群,齐鹏,等.小麦和玉米秸秆不同还田量下腐解特征及其养分释放规律[J].干旱区资源与环境,2016,30(3):80-85.
- [20] 路平.还田麦秸腐解动态及其与施氮的关系[D].扬州:扬州大学,2013.
- [21] 杨文亭,王晓维,徐健程,等.施氮量对土壤含水量对红壤区黑麦草腐解和氮素释放的影响[J].生态学杂志,2018,37(9):2589-2595.
- [22] 刘单卿.麦秸还田对土壤氮素转化及玉米产量的影响[D].郑州:郑州大学,2018.
- [23] 庞荔丹.玉米秸秆还田腐解率及其对土壤养分影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2017.
- [24] 王静静,毛筱晔,郭明伟,等.不同氮肥运筹下水稻秸秆腐解特征及对稻茬小麦产量和土壤养分的影响[J].江西农业学报,2017,29(6):54-57.
- [25] 赵建红.水氮管理与秸秆还田对免耕厢沟栽培水稻生长发育及稻田土壤理化性质的影响[D].雅安:四川农业大学,2016.
- [26] 张亮.关中麦玉轮作区施氮对秸秆还田小麦产量和秸秆养分释放的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [27] 顾焯民.施氮对关中灌溉区秸秆还田小麦生长及秸秆腐解规律的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [28] 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[J].应用生态学报,2015,26(9):2714-2720.
- [29] 黄婷苗,王朝辉,侯仰毅,等.施氮对关中还田玉米秸秆腐解和养分释放特征的影响[J].应用生态学报,2017,28(7):2261-2268.
- [30] Jenkinson D S. Studies on the decomposition of plant material in soil I. Losses of carbon from ^{14}C -Labelled dry e-grass incubated with soil in the field[J]. European Journal of Soil Science. 1965,16:104-115.
- [31] 匡恩俊,迟凤琴,宿庆瑞,等.不同还田方式下玉米秸秆腐解规律的研究[J].玉米科学,2012,2(2):99-101,106.
- [32] 匡恩俊,迟凤琴,宿庆瑞,等.三江平原地区不同有机物料腐解规律的研究[J].中国生态农业学报,2010,18(4):736-741.
- [33] 代文才,高明,兰木羚,等.不同作物秸秆在旱地和水田中的腐解特性及养分释放规律[J].中国生态农业学报,2017,25(2):188-199.
- [34] Devèvre O C, Horwath W R. Decomposition of rice straw and microbial carbon use efficiency under different soil temperatures and moistures [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(11/12):1773-1785.
- [35] 武际,郭熙盛,王允青,等.不同水稻栽培模式和秸秆还田方式下的油菜、小麦秸秆腐解特征[J].中国农业科学,2011,44(16):3351-3360.