

边巴卓玛,宋国英. 拉萨河谷农区豆科绿肥腐解及碳氮养分释放动态特征[J]. 江苏农业科学,2022,50(17):241-246.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.17.039

拉萨河谷农区豆科绿肥腐解及碳氮养分释放动态特征

边巴卓玛, 宋国英

(西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所, 西藏拉萨 850032)

摘要:通过研究高寒地区不同豆科绿肥翻压还田后在土壤中的生物腐解效应,以及不同绿肥类型分解速度和养分释放量动态,探讨如何筛选鲜草产量高、养分效应好的绿肥品种,用以改善土壤肥力,为下茬作物种植提供最大限度的肥效作用。采用尼龙网袋法,对救荒野豌豆、胡卢巴、豌豆等 3 种不同豆科绿肥种植翻压还田后的腐解特征及养分释放规律进行研究。结果表明,救荒野豌豆植株的全氮、全磷、全钾养分积累及水分含量最高,豌豆最低,胡卢巴介于中间;救荒野豌豆绿肥翻压还田后的鲜体绿肥腐解效果优于其他 2 个品种,其鲜体腐解速率最高达到 0.225 g/d,翻压 30 d 其腐解率为 60%,全氮、全碳养分释放率分别为 78.41%、68.81%;3 个品种豆科绿肥的 C/N 均呈下降的趋势,胡卢巴的 C/N 由 16.4 下降至 8.46,救荒野豌豆的 C/N 由 8.27 下降至 7.99,豌豆的 C/N 由 10.38 下降至 8.37。

关键词:豆科绿肥;腐解;养分释放;拉萨河谷;碳氮比

中图分类号: S142+.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)17-0241-06

近年来,越来越多的学者开始关注种植绿肥压青在培肥地力、改善土壤性状等方面的作用,其通过生物腐解可以有效地将养分释放到土壤中,为后作的粮食作物增产增效提供一个良好的生长环境。豆科绿肥是一种富含养分的、清洁的、可以与作物轮作的优质生物肥源^[1-2],其通过自身根瘤菌对空气中的氮素进行固定,根系能深入土壤深层将不易被其他作物所吸收利用的养分积累于豆科绿肥体内^[3],通过翻埋后,将自身的营养元素归还到土壤中,使大量的养分富集在土壤表层和根层中,可以有效提升土壤中的速效氮含量^[4]、增加土壤有机质含量^[5],进而有效改良土壤肥力^[6-8]。

大量研究表明,不同类型绿肥品种(包括豆科与禾本科)的生产能力和养分利用能力存在明显差异,翻压后腐解特性及养分释放效果亦有所不同。潘福霞等研究了 3 种豆科绿肥在旱地条件下的分解和养分释放特性,结果表明,翻耕后 15 d 迅速分解,15~70 d 腐解趋于缓慢,养分累积释放率大小排序为钾(K)>磷(P)>氮(N)^[9];宁东峰等对油菜、叶苔和冬牧 70 黑麦的分解和养分释放的研究表明,前 3 d 腐解速度最快,后腐解速度变缓,翻压 21 d 内

的 N 释放达到 60% 以上,翻压 113 d 碳矿化率达到 81.9%~93.4%^[10]。

为明确高寒地区绿肥翻压还田后的生物腐解效应,并了解不同绿肥品种的腐解及养分特性。本研究基于前人的研究方法,采用尼龙网袋法,在自然翻压还田的情况下,初步探讨高海拔、低温气候条件下救荒野豌豆、胡卢巴、豌豆等 3 种不同豆科绿肥种植翻压还田后的腐解特征及养分释放规律,合理筛选绿肥品种,明确绿肥翻压对土壤养分的贡献,以期“豆科绿肥—冬青稞”轮作系统的推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2020 年 10 月至 2021 年 1 月在西藏自治区农牧科学院资源与环境研究所四号试验地进行,海拔约 3 662 m,年平均温度为 7.4℃,年平均降水量 200~510 mm,主要集中在 6—9 月,无霜期 100~120 d,全年日照时数 3 000 h,属高原温带半干旱季风气候。

供试土壤田上按“S”形 10 点采样法采集供试耕层土壤,土壤质地为沙壤,基本养分状况为:平均有机质含量 10.94 g/kg、全氮含量 1.6 g/kg、全磷含量 1.13 g/kg、全钾含量 4.88 g/kg、有效氮含量 0.15 g/kg、速效钾含量 65.95 mg/kg、速效磷含量 233.53 mg/kg,pH 值为 8.18。

收稿日期:2021-10-09

基金项目:西藏自治区自然科学基金[编号:XZ2019ZRG-88(Z)]。

作者简介:边巴卓玛(1981—),女,西藏昌都人,硕士,副研究员,主要从事耕作栽培及早作农业方面的研究。E-mail:2732416312@qq.com。

1.2 试验设计与方法

试验采用尼龙网袋法^[11],设置 3 个处理,处理品种分别为胡卢巴(H)、救荒野豌豆(J)、豌豆(Z)。

翻压还田方法:3 种绿肥均在盛花期取地上部样品切成 2~4 cm 小段后,混匀装入尼龙网袋(网袋规格:20 cm×15 cm,孔径 75 μm,200 目),每个网袋中加入相应绿肥 20 g,封口备用。于 2020 年 10 月 5 日埋入土中,分别于翻压后 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 d 取样,每个处理 44 袋,共取样 11 次。测定样品时,每个处理随机取 4 袋,去除表面的浮土和杂物,用清水冲洗网袋上黏附的泥土,将剩余秸秆放入干燥箱中 105 ℃ 杀青 30 min,再在 80 ℃ 烘干至恒质量,称质量后磨碎,测定其总有机碳(TOC)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)含量,并计算养分释放率及碳氮比(C/N)。为了更真实地反映绿肥中养分在田间的释放状况,选择在田间地头埋入尼龙网袋(其通透性能良好,水分、空气及肥料养分可自由出入)。覆土时尽量不破坏原来的土体结构,与地面齐平,埋设深度为 15 cm,水平放置且无重叠,在埋袋行间种植冬青稞,且不施用任何肥料。

相关指标的计算公式如下:

干物质残留量 = n d 的干物质总量;

累积腐解量 = 0 d 的干物质总量 - n d 的干物质总量;

累积腐解率 = 累积腐解量/0 d 的干物质总量 × 100%;

阶段内平均腐解速率 = 阶段内腐解量/阶段

天数;

养分总量 = 干物质总量 × 养分含量 × 1 000;

养分累积释放量 = 0 d 的养分总量 - n d 的养分总量;

养分累积释放率 = 养分累积释放量/0 d 的养分总量 × 100%;

阶段内平均养分释放速率 = 阶段内养分释放量/阶段天数。

式中: n 为翻压时间,d;1 000 为将 g 换算为 mg 的换算系数。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2007 软件及 SPSS 21.0 数据处理系统对试验数据进行方差分析,并用最小显著法(LSD)检验试验数据的差异性水平($\alpha=0.05$)。采用 SigmaPlot 软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同豆科绿肥的养分和水分含量

不同绿肥品种组成成分不同,因而从土壤中获得养分的能力及翻压后对土壤碳氮蓄积量、有机质含量、速效钾含量等指标^[12-14]的影响亦有所不同。由表 1 可知,总有机碳含量表现为救荒野豌豆>胡卢巴>豌豆,全氮含量表现为救荒野豌豆>豌豆>胡卢巴,全磷含量表现为救荒野豌豆>胡卢巴>豌豆,全钾含量表现为救荒野豌豆>胡卢巴>豌豆,含水量以救荒野豌豆的稍高,为 75%,豌豆、胡卢巴均为 70%。

表 1 不同豆科绿肥初始养分和水分含量

绿肥种类	干物质质量 (g)	TOC 含量 (g/kg)	TN 含量 (g/kg)	C/N	TP 含量 (mg/kg)	TK 含量 (g/kg)	含水量 (%)
胡卢巴	6.00	400.12	24.40	16.40	3.63	9.46	70
救荒野豌豆	5.00	418.11	50.57	8.27	4.37	13.00	75
豌豆	6.00	379.26	36.55	10.38	3.18	8.50	70

2.2 不同豆科绿肥干物质的腐解特征

由图 1 可知,不同绿肥翻压后的干物质残留量随时间延长呈下降趋势,腐解速率和累计腐解率随时间的变化曲线基本一致,分为 3 个阶段:快速腐解期(0~30 d)、中速腐解期(30~70 d)和缓慢腐解期(70~100 d)。

0~30 d 为绿肥鲜体快速分解期。3 种不同豆科绿肥的累积腐解率、腐解速率变化呈快速上升趋

势,干物质残留呈快速下降趋势。救荒野豌豆干物质残留量变化范围为 2.00~5.00 g,累积腐解率为 0~60%,腐解速率为 0~0.225 g/d;胡卢巴干物质残留量变化范围为 3.50~6.00 g,累积腐解率为 0~41.7%,腐解速率为 0~0.125 g/d;豌豆干物质残留量变化范围为 3.25~6.00 g,累积腐解率为 0~45.8%,腐解速率为 0~0.125 g/d。翻压至 10 d,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆腐解速率均达到最高值,分

别为 0.125、0.225、0.125 g/d,救荒野豌豆的腐解速率显著高于其他 2 种绿肥 ($P < 0.05$)。翻压至 30 d,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆的累积腐解率达到此阶段的最高值,分别为 41.67%、60.00%、45.83%,品种间差异显著 ($P < 0.05$)。

30~70 d 为绿肥鲜体中速分解期。胡卢巴干物质残留量变化范围为 3.50~4.00 g,累积腐解率为 33.3%~41.7%,腐解速率为 0.032~0.083 g/d;救荒野豌豆干物质残留量变化范围为 2.00~2.50 g,累积腐解率为 50%~60%,腐解速率为 0.036~0.063 g/d;豌豆干物质残留量变化范围为 3.00~3.75 g,累积腐解率为 37.5%~50.0%,腐解速率为 0.043~0.092 g/d。

70~100 d 为绿肥鲜体缓慢分解期。胡卢巴干物质残留量变化范围为 2.75~3.75 g,累积腐解率为 37.50%~54.17%,腐解速率为 0.032~0.035 g/d;救荒野豌豆干物质残留量变化范围为 1.75~2.50 g,累积腐解率为 50.0%~65.0%,腐解速率为 0.033~0.038 g/d;豌豆干物质残留量变化范围为 2.50~3.00 g,累积腐解率为 50.0%~58.3%,腐解速率为 0.035~0.043 g/d。翻压至 100 d,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆累积腐解率达到最高值,分别为 54.17%、65.0%、58.34%,干物质残留量分别为 2.75、1.75、2.50 g,其中以救荒野豌豆还田处理效果明显。

2.3 不同豆科绿肥碳、氮养分释放特征

2.3.1 碳释放特征 由图 2 可知,不同豆科绿肥碳的释放规律与腐解规律基本相似,分为 3 个阶段:快速释放期(0~30 d)、平稳释放期(30~60 d)和缓慢释放期(60~100 d)。

0~30 d,不同豆科绿肥处理翻压后总有机碳释放率随时间的变化曲线基本一致,呈快速增加的趋势。胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆的总有机碳养分释放率分别为 0~43.48%、0~68.81%、0~45.64%,累积释放量为 0.00~1 043.89、0.00~1 438.55、0.00~1 038.66 g,释放速率为 0.00~43.70、0.00~109.58、0.00~41.94 g/d。翻压至 30 d,品种间养分释放率差异达极显著水平 ($P < 0.01$),表现为救荒野豌豆最高,豌豆次之,胡卢巴最低。翻压 10 d,品种间养分释放率差异达极显著水平 ($P < 0.01$),表现为救荒野豌豆最高,豌豆次之,胡卢巴最低;释放速率达到整个腐解过程的最大值,分别为 109.50、43.70、41.94 g/d;累积释放量差异达极显

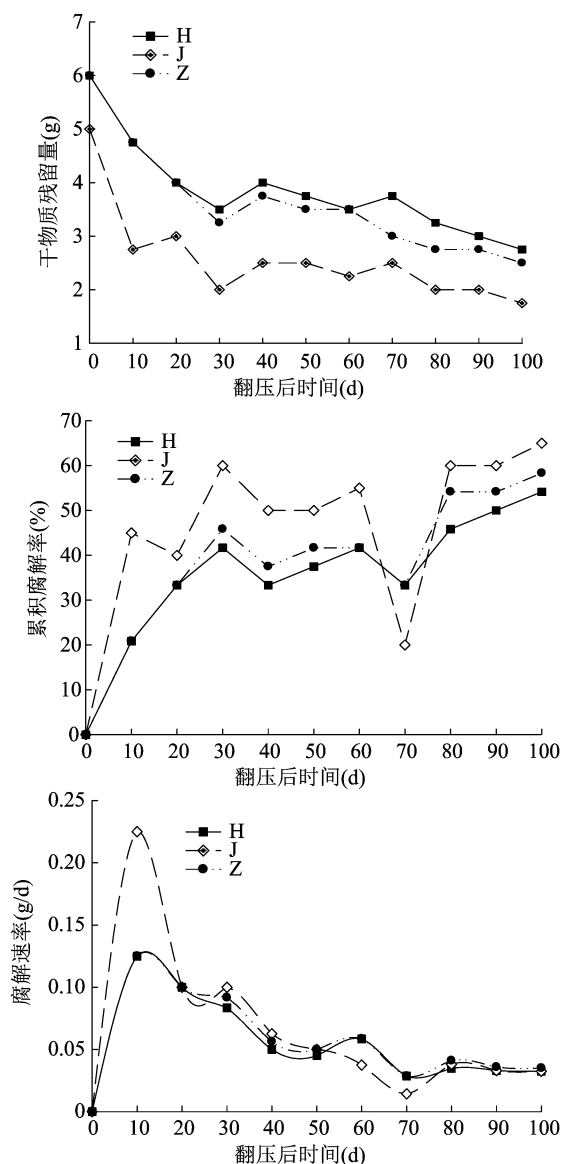


图1 绿肥腐解特性

著水平 ($P < 0.01$),表现为救荒野豌豆 > 胡卢巴 > 豌豆。

30~60 d,不同豆科绿肥翻压后随时间延长总有机碳释放率、累积释放率变化幅度不大,基本上呈先缓慢下降后上升的趋势。此期间,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆碳累积释放率变化幅度分别为 39.93%~45.31%、59.35%~68.81%、38.54%~45.64%,累积释放量为 958.73~1 087.92、1 240.85~1 438.55、877.04~1 038.66 g,释放速率分别为 18.13~34.80、22.47~47.95、15.69~34.62 g/d。翻压 50 d,品种间养分释放率差异达显著水平 ($P < 0.05$),表现为救荒野豌豆最高,豌豆次之,胡卢巴最低。

60~100 d,不同豆科绿肥翻压后随时间延长总

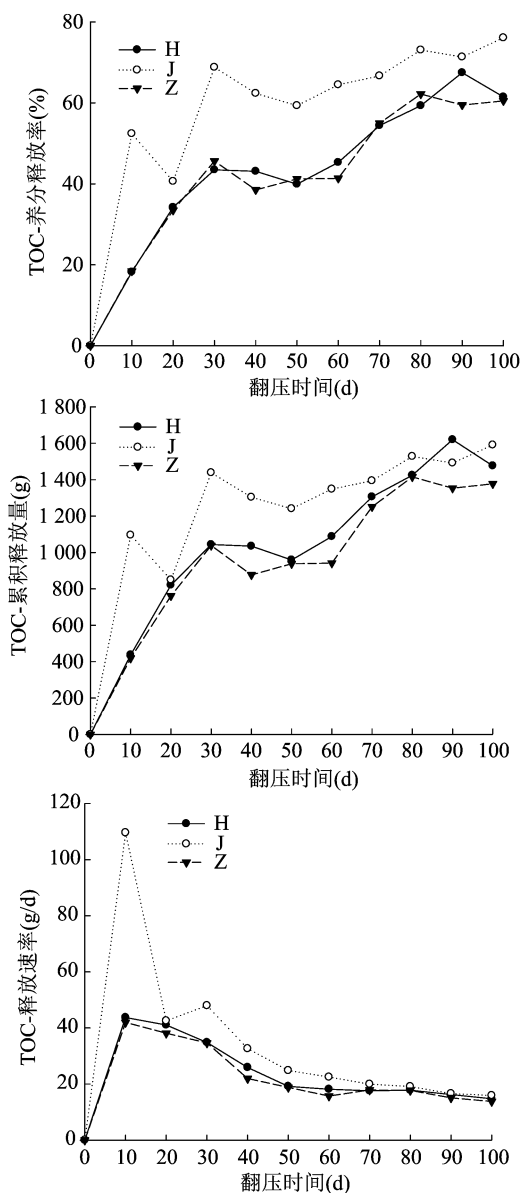


图2 绿肥总有机碳释放动态

有机碳释放率、累积释放量呈缓慢上升的趋势,释放速率变化呈缓慢下降趋势。翻压至 80 d,品种间的养分释放率差异达显著水平($P < 0.05$),表现为救荒野豌豆最高,豌豆次之,胡卢巴最低。翻压至 100 d,品种间的养分释放率差异达显著水平($P < 0.05$),表现为救荒野豌豆最高,胡卢巴次之,豌豆最低;胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆的累积释放量分别为 1 476.28、1 591.09、1 377.38 g,释放速率分别为 14.76、15.91、13.78 g/d。

2.3.2 氮释放特征 由图 3 可知,不同豆科绿肥全氮的释放规律分为 3 个阶段:快速释放期(0 ~ 10 d)、缓慢释放期(10 ~ 30 d)和平稳释放期(30 ~ 100 d)。

0 ~ 10 d 快速释放阶段中,3 种绿肥全氮的释放速率差异达极显著水平($P < 0.01$),其中以救荒野豌豆释放最快,豌豆次之,胡卢巴最慢;翻压至 10 d,三者的全氮养分释放率分别为 70.75%、42.9%、41.42%;累积释放量分别为 178.90、94.08、60.63 g;释放速率分别为 17.89、9.41、6.07 g/d。

10 ~ 30 d 缓慢释放阶段中,翻压至 30 d,品种间养分释放率差异极显著($P < 0.01$),表现为救荒野豌豆 > 豌豆 > 胡卢巴;品种间全氮累积释放量差异极显著($P < 0.01$),表现为救荒野豌豆 > 豌豆 > 胡卢巴;品种间全氮释放速率差异极显著($P < 0.01$),表现为救荒野豌豆 > 豌豆 > 胡卢巴。

30 ~ 60 d 平稳释放阶段中,不同豆科绿肥全氮释放率、累积释放量变化平缓,释放速率变化呈缓慢下降趋势。胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆全氮养分释放率分别为 41.03% ~ 50.00%、72.60% ~ 76.05%、52.62% ~ 56.26%,累积释放量分别为 60.06 ~ 73.18、183.58 ~ 192.30、115.40 ~ 123.36 g,释放速率分别为 0.06 ~ 2.24、0.39 ~ 6.61、0.15 ~ 4.35 g/d。翻压至 60 d,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆的全氮释放率分别为 50.00%、76.00%、56.15%,差异显著($P < 0.05$);全氮累积释放量分别为 73.18、192.30、123.12 g,差异极显著($P < 0.01$);养分释放速率分别为 0.06、0.39、0.15 g/d,差异极显著($P < 0.01$);其全氮释放速率降到整个腐解过程的最低点。

60 ~ 100 d,不同豆科绿肥翻压后全氮释放率、累积释放量缓慢下降后又缓慢增加,释放速率缓慢上升后趋于平缓。翻压至 70 d,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆的全氮释放率分别为 16.52%、66.18%、48.06%,差异极显著($P < 0.01$);累积腐解量分别为 24.19、167.34、105.39 g,差异极显著($P < 0.01$);释放速率分别为 0.35、2.39、1.51 g/d,差异极显著($P < 0.01$),其中以救荒野豌豆释放最快,豌豆次之,胡卢巴最慢。翻压至 100 d,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆的全氮养分释放率分别为 31.56%、75.39%、56.30%,差异极显著($P < 0.01$);累积释放量分别为 46.21、190.61、123.45 g,差异极显著($P < 0.01$);释放速率分别为 0.46、1.91、1.24 g/d,差异极显著($P < 0.01$),其中以救荒野豌豆释放最快,豌豆次之,胡卢巴最慢。从上述分析可知,整个腐解阶段中,救荒野豌豆的全氮养分释放率和累积释放量均高于其他 2 种绿肥。

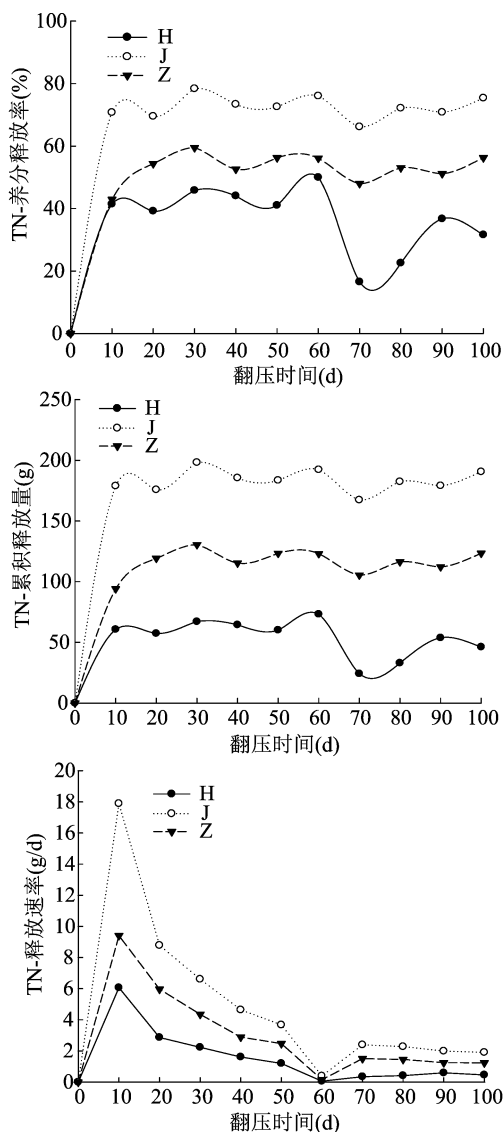


图3 绿肥全氮释放动态

2.3.3 碳氮比的动态变化 由图4可知,3种豆科绿肥碳氮比的动态变化曲线呈阶梯式变化。

0~10 d,品种间差异达到极显著水平($P < 0.01$)。对照翻压前,C/N变化幅度明显,胡卢巴的C/N由16.40上升至22.97,救荒野豌豆的C/N由8.27上升至13.48,豌豆的C/N由10.38上升至14.90。

20~60 d,C/N变化呈平缓下降趋势,胡卢巴为16.72~18.13,救荒野豌豆为11.81~12.27,豌豆为13.44~15.09。翻压20 d,品种间差异达极显著水平($P < 0.01$)。对比翻压10 d,胡卢巴的C/N由22.97降至17.99,救荒野豌豆由13.48下降至12.11,豌豆由14.90上升至15.09。

60~70 d,C/N呈快速下降趋势,胡卢巴由18.13下降至8.91,救荒野豌豆由12.28下降至

8.10,豌豆由13.84下降至9.10。翻压70~100 d,C/N变化平缓,胡卢巴为8.46~9.21,救荒野豌豆为7.99~8.15,豌豆为8.37~9.50;翻压80~90 d,品种间的C/N无显著差异。对比翻压前,C/N变化幅度较明显,达到整个翻压时期的最低水平。翻压90 d,胡卢巴由16.40下降至8.46;翻压80 d,救荒野豌豆由8.27下降至7.99,豌豆由10.38下降至8.37。

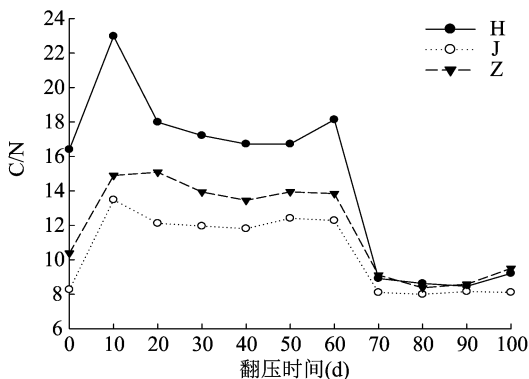


图4 绿肥碳氮比动态变化

3 讨论与结论

本研究结果表明,3种不同豆科绿肥翻压还田的腐解过程分为快速腐解期(0~30 d)、中速腐解期(30~60 d)和缓慢腐解期(60~100 d),与前人的研究结果^[15-16]较为相似。绿肥翻压还田在土壤中矿化阶段呈现出前期迅速腐解、后期缓慢这一特点,主要是鲜体绿肥在初腐解过程中,易分解出大量的有机物,如多糖、氨基酸、有机酸等,可以为土壤微生物提供大量的碳源及养分,加速腐解;随着翻压还田时间的延长,绿肥中难分解的纤维素和木质素等组分比例增加,致后期腐解趋于缓慢。研究发现,翻压至10 d,胡卢巴、救荒野豌豆、豌豆的腐解速率达到整个翻压期最高值,分别为0.125、0.225、0.125 g/d;翻压至30 d,救荒野豌豆的腐解率最高,为60.00%,豌豆次之,胡卢巴最低。赵娜等对旱地3种豆科绿肥的研究结果表明,翻埋前28 d快速腐解、达到分解高峰期,干物质量减少了60%左右;常春丽等对高寒地区4种不同绿肥作物的腐解特征的研究结果表明,处理30 d内快速腐解,腐解率均达到了50%以上^[17]。

大量研究证明,绿肥翻压后土壤中的腐解和养分释放活动是一个复杂的生物化学过程,整个生物腐解过程受多种因素的影响。因此,在不同生态环境下不同绿肥类型翻压后对土壤的作用效应以及

对植株 N、P、K、TOC 养分释放的进度存在着明显差异^[18-19]。李忠义等研究发现,紫云英翻埋至 100 d 后,碳、氮累计腐解率分别为 70.1%、72.3%^[20];刘新红等研究发现,不同类型油菜翻压至 102 d,碳累积释放率为 76.16%~79.65%,氮的累积释放率为 74.79%~85.92%^[21]。本研究结果表明,救荒野豌豆全碳、全氮养分释放率最高,豌豆次之,胡卢巴最低,且翻压 30 d 生物腐解效果优于 100 d。主要原因可能是,10 月初绿肥还田,前 1 个月土壤中积累的温度和水分可以很好地为绿肥快速腐解提供基础^[19],因此腐解效果较显著,植株全碳、全氮养分释放较快。随着腐解时间的延后,土壤环境条件限制了土壤微生物活动,致腐解效率及养分释放率降低。

碳氮比是衡量绿肥腐解情况的重要指标。本研究结果表明,绿肥翻埋后整体的碳氮比小于翻埋前,这与前人的研究结论^[23]较为相似,但其变化规律略有不同。赵娜等的研究表明,随腐解时间的延长,绿肥作物腐解物的 C/N 先迅速下降,然后缓慢下降直至基本不变^[13];薄晶晶等对长武怀豆和黑麦草 2 种绿肥在黄土旱塬区农田土壤中的腐解状况进行研究发现,绿肥 C/N 在试验期间有很大变化,绿肥翻埋后 C/N 先迅速下降,2~3 周达到最低值后又缓慢增加至基本不变^[22]。本研究结果表明,3 种豆科绿肥碳氮比呈上升—下降—平稳—下降—平稳的阶梯式变化,翻压的前 10 d,碳氮比先迅速上升,随时间的延长回落到最低值后慢慢趋于平缓,此结果与潘福霞等的结论^[9]较为一致。整体上,对比翻压前,C/N 均呈下降的趋势。

参考文献:

- [1] 胡健康,王豹祥,胡功军,等. 绿肥改良土壤技术在保康县烤烟生产上的应用研究[J]. 现代农业科技,2012(14):223,232.
- [2] 李正. 绿肥对植烟土壤培肥改良效应及烤烟产质量的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2010.
- [3] 曹卫东,黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. 中国土壤与肥料,2009(4):1-3.
- [4] 邹长明,刘英,杨杰,等. 豆科绿肥品种养分富集能力比较研究[J]. 作物杂志,2013(3):75-79.
- [5] 孙文彦,尹红娟,许建新,等. 棉田套作冬绿肥促进棉花增产的机理研究[J]. 华北农学报,2015,30(增刊1):129-132.
- [6] 彭映平,和文祥,王紫泉,等. 黄土高原旱区绿肥定位试验土壤化学性质及酶活性特征研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(9):131-138,149.
- [7] 宋莉,廖万有,王焯军,等. 套种绿肥对茶园土壤理化性状的影响[J]. 土壤,2016,48(4):675-679.
- [8] 王琳,管永祥,陈震,等. 不同种类绿肥养分积累比较及其对水稻产量的影响[J]. 江苏农业学报,2020,36(5):1139-1143.
- [9] 潘福霞,鲁剑巍,刘威,等. 三种不同绿肥的腐解和养分释放特征研究[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(1):216-223.
- [10] 宁东峰,马卫萍,孙文彦,等. 华北地区棉田翻压冬绿肥腐解及养分释放规律研究[J]. 华北农学报,2011,26(6):164-167.
- [11] 林心雄,吴顺龄,车玉萍. 干旱和半干旱地区测定有机物分解速率的尼龙袋法[J]. 土壤,1992,24(6):315-318.
- [12] 白金顺,曹卫东,樊媛媛,等. 苏南稻田 4 种冬绿肥养分特性及对翻压前土壤无机氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):413-419.
- [13] 赵娜,赵护兵,鱼昌为,等. 旱地豆科绿肥腐解及养分释放动态研究[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(5):1179-1187.
- [14] 赵秋,高贤彪,宁晓光,等. 华北地区春玉米—冬绿肥轮作对碳、氮蓄积和土壤养分以及微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(4):1005-1011.
- [15] Lupwayi N Z, Clayton G W, O'Donovan J T, et al. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2004, 84(4):403-410.
- [16] Frøseth R B, Bleken M A. Effect of low temperature and soil type on the decomposition rate of soil organic carbon and clover leaves, and related priming effect[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 80:156-166.
- [17] 常春丽,王盼盼,李金秋,等. 高寒地区不同绿肥的腐解特征及其对土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(5):260-263.
- [18] 邓小华,石楠,周米良,等. 不同种类绿肥翻压对植烟土壤理化性状的影响[J]. 烟草科技,2015,48(2):7-10,20.
- [19] Talgre L, Lauringson E, Roostalu H, et al. Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops[J]. Biological Agriculture & Horticulture, 2014, 30(4):264-271.
- [20] 李忠义,何铁光,蒙炎成,等. 稻田豆科冬季绿肥腐解及养分释放特征研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):241-245.
- [21] 刘新红,周兴,邓力超,等. 油菜绿肥的腐解特征及养分释放对土壤肥力的影响[J]. 湖南农业科学,2020(5):31-36.
- [22] 薄晶晶,王俊,付鑫. 两种绿肥腐解及其碳氮养分释放动态特征[J]. 生态科学,2019,38(6):37-45.