

华北冬绿肥作物养分累积特征及对翻压前土壤养分的影响

赵 秋, 张新建, 宁晓光

(天津市农业科学院, 天津 300192)

摘 要: 采用大田试验方式研究华北地区冬绿肥生态适应性。试验设置冬闲、二月兰、毛叶苕子、黑麦、黑麦草、毛叶苕子二月兰混播、毛叶苕子黑麦混播 7 个处理, 分析其养分累积及其对翻压前土壤养分的影响。结果表明, 供试冬绿肥翻压前生物产量为 4991 ~ 7262 kg/hm², 氮、磷、钾累积吸收量分别为 121.5 ~ 191.4、26.8 ~ 41.9、140.7 ~ 261.5 kg/hm², 显著高于冬闲处理。其中, 毛叶苕子氮吸收量最高, 黑麦磷、钾吸收量最高; 冬绿肥翻压前土壤硝态氮、有效磷含量显著降低, 土壤速效钾含量显著增加。研究结果为冬绿肥种植减少土壤氮、磷养分淋失和钾素固持提供了理论支持。

关键词: 冬绿肥; 养分累积; 土壤养分; 氮素淋失; 钾素固持

包括天津市在内的华北玉米产区干旱缺水、小麦面积压减而形成的冬闲田面积逐渐增多^[1]。据统计, 华北地区冬闲田约为 2000 万 hm², 冬闲期长达 4 ~ 6 个月, 土地、光照、水分、温度、肥力等自然资源丰富, 适合发展冬绿肥的生产与利用, 以便解决由于冬闲导致的冬春耕地裸露、水土流失及扬尘等环境问题^[2-3]。

国内外研究表明: 对比冬闲田, 冬绿肥能够增加冬春地表生物覆盖, 硝态氮淋溶得到抑制, 土壤有机质含量明显提高, 农田生物多样性得到提升, 主作物产量持续增加, 土壤养分利用效率显著提高。冬绿肥种植春季还可以提供新鲜的露地蔬菜; 提供春季旅游资源, 美化环境, 愉悦人们的心情^[4-9]。另外, 绿肥是纯天然的有机肥料, 它在生产与利用过程中, 通过生物覆盖和根系物理交叉起到显著改善土壤物理性状、耕性以及防止风蚀、水土流失的作用^[10-12]。

冬绿肥作物的生物量和养分特性是其用作绿肥的重要指标, 也是选择种植利用绿肥对土壤和主作物影响的重要基础。研究表明, 同一生态区域不同冬绿肥作物生物量及养分累积量明显不同: 南方稻

田紫云英、毛叶苕子、光叶苕子和肥田萝卜生物产量在 3600 kg/hm² 以上, 毛叶苕子氮素累积 136.4 kg/hm², 肥田萝卜磷素累积达到 11.3 kg/hm², 毛叶苕子钾素累积 151.3 kg/hm²^[13]。秋播毛叶苕子、燕麦等作物有较多的氮素累积; 毛叶苕子和紫花苜蓿氮素累积可满足下茬马铃薯需氮量的 80% ~ 100%^[14]。冬绿肥或者覆盖作物可在耕作休闲期间通过改变氮吸收及矿化作用, 减少硝态氮从土壤深层向下迁移、深层渗漏和大气氮气固定, 从而减少土壤氮素流失。作物不同, 其减少硝态氮淋溶损失的作用也有所不同, 主要影响因素有绿肥生物产量, 土壤中氮素含量, 肥料矿化以及土壤水的移动^[15-16]。

但是冬绿肥多限于我国南方地区种植, 种类繁多, 对南方冬绿肥的研究相对较多, 对华北地区的研究较少。华北地区尤其是天津市冬季比南方寒冷, 热量资源不足, 但仍有一些绿肥作物如二月兰、毛叶苕子、黑麦草等在不影响主作物的条件下具有很好的适应性并达到很高的生物量^[17-19]。2017 ~ 2018 年在天津市武清区研究毛叶苕子、二月兰、黑麦、黑麦草及混播条件下生物量和营养特性, 评价其生态适应性及作为冬绿肥的潜在作用; 同时研究这 4 种冬绿肥及其混播种植后对翻压前耕层土壤养分的影响, 以期华北地区合理生产和利用冬绿肥、减少水土流失提供科学依据。

1 材料与与方法

1.1 试验区概况

试验在天津市现代农业科技创新基地 (39° 21' N、

收稿日期: 2021-02-20; 录用日期: 2021-07-17

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-22); 国家农作物种质资源平台项目 (NCGRC-2022-19); 天津市农业成果转化与推广项目 (201904040)。

作者简介: 赵秋 (1977-), 副研究员, 博士, 主要从事植物营养与肥料方面的研究。E-mail: qiu Zhao_2008@163.com。

117° 10' E, 海拔 3.6 m) 进行。该试验地属于暖温带半湿润大陆季风气候, 年均降水量 586.1 mm; 年均气温 11.6 °C; 全年日照时数 2810 h; 无霜期 203 d。试验土壤为潮土, 试验前 0 ~ 20 cm 耕层土壤基础养分为: 有机质 15.47 g/kg, 全氮 1.15 g/kg, 全磷 (P) 0.63 g/kg, 全钾 (K) 18.56 g/kg, 碱解氮 70.52 mg/kg, 有效磷 28.29 mg/kg, 速效钾 224 mg/kg, pH 8.28。

1.2 供试材料

华北土著栽培二月兰、土库曼毛叶苕子、意大利一年生黑麦草, 冬牧 70 黑麦。

1.3 试验设计

试验于 2017 ~ 2018 年进行, 设 7 个处理: 冬闲 (WF)、二月兰 (OrV)、毛叶苕子 (VvR)、黑麦草 (RrG)、黑麦 (SeC)、毛叶苕子+二月兰混播 (VvR+OrV) 和毛叶苕子+黑麦混播 (VvR+SeC), 每个处理 3 次重复, 小区面积 18 m², 随机排列。二月兰、毛叶苕子、黑麦、黑麦草、毛叶苕子+二月兰混播、毛叶苕子+黑麦混播于 9 月中下旬玉米收获后播种, 播种量依次为 45.0、60.0、60.0、45.0、30.0+22.5、30.0+30.0 kg/hm²。播种后灌出苗水, 按照 30 t/hm² 喷灌形式灌溉, 冬绿肥生长期不施任何肥料和农药, 不灌水。翌年 4 月中下旬后将冬绿肥切碎成 2 ~ 3 cm 小段后翻压到土壤 10 ~ 15 cm 土层中, 并于月末播种春玉米。

1.4 样品采集及测定

冬绿肥翻压前即 4 月 25 日选取试验地 1 m², 采集地上部和地下部根系 (20 cm) 的整段植株, 冲洗掉根系土壤, 冬闲区取杂草样 (主要为稗草、牛筋草、鸭跖草), 将所取植株地上部和根系鲜样在 105 °C 杀青 2 h, 70 °C 下烘干后称重。同时采集耕层 (0 ~ 20 cm)

土壤样品, 测定水分和速效养分。

1.5 测试方法

植株样品用硫酸-过氧化氢消化, 采用 K₂Cr₂O₇ 容量法测定植株和根系全碳 (TC); 钼蓝比色法测定全磷 (TP); 凯氏定氮法测定全氮 (TN); 原子吸收火焰光度法测定全钾 (TK)。植株样品测定地上部和 20 cm 土层根系生物量以及干物质产量, C、N、P、K 累积吸收量按照如下公式计算: X 累积吸收量 = 根系 X 含量 × 根系干物重 + 地上部植株 X 含量 × 地上部干物重。土壤养分分析采用常规分析方法^[20]。

1.6 数据分析方法

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 进行数据统计分析和做图, 各处理间的差异显著性用 LSD 法检测。

2 结果与分析

2.1 冬绿肥生物产量

7 个处理生物产量见表 1。方差分析表明, 6 种绿肥总生物产量、地上部和地下部生物产量均显著高于冬闲 ($P < 0.05$)。绿肥处理总生物产量在 4991 ~ 7263 kg/hm² 之间, 比冬闲高 280.3% ~ 453.3%, 黑麦处理最高, 显著高于其他绿肥处理。二月兰处理总生物产量显著高于毛叶苕子+二月兰、毛叶苕子和黑麦草处理; 毛叶苕子+黑麦处理显著高于毛叶苕子、黑麦草和毛叶苕子+二月兰处理, 后三者总生物产量之间差异不显著。与冬闲相比, 绿肥处理地上部生物产量比冬闲增加 214.4% ~ 386.9%, 黑麦最高; 地下部生物产量以黑麦草最高 (2250 kg/hm²), 黑麦次之 (2150 kg/hm²), 毛叶苕子处理地下部生物产量最低, 为 1190 kg/hm²。

表 1 不同冬绿肥地上部及地下部生物产量及总生物产量 (kg/hm²)

处理	地上部生物产量	地下部生物产量	总生物产量
冬闲	1050 ± 17d	263 ± 4d	1312 ± 11d
二月兰	4752 ± 27b	1900 ± 14ab	6653 ± 32b
毛叶苕子	3801 ± 23c	1190 ± 22c	4991 ± 10c
黑麦草	3301 ± 20c	2250 ± 32a	5551 ± 19c
黑麦	5112 ± 35a	2150 ± 22ab	7263 ± 39a
毛叶苕子+二月兰	4000 ± 22c	1550 ± 16b	5550 ± 14c
毛叶苕子+黑麦	4552 ± 33b	1650 ± 25b	6202 ± 53b

注: 表中数据为平均值 ± 标准差 (n=3); 同列不同小写字母表示差异达 5% 显著水平。下同。

2.2 冬绿肥养分特性

从表2看出,6种绿肥黑麦处理TC含量最高,为43.63%,显著高于二月兰、黑麦草、毛叶苕子和毛叶苕子+二月兰,与毛叶苕子+黑麦差异不显著;其次是二月兰和毛叶苕子,二者数值相近,分别为41.46%和41.45%,黑麦草TC含量最低,为40.4%,显著低于二月兰和毛叶苕子。毛叶苕子处理TN含量显著高于其他处理,其次是毛叶苕子+二月兰处理,数值为2.9%,显著高于其他4个处理,

再次是黑麦草,与二月兰、毛叶苕子+黑麦处理间差异不显著,但都高于黑麦,黑麦数值仅为1.5%。C/N最高的是黑麦,为29.9,显著高于其他处理,毛叶苕子C/N最低,为10.9。黑麦草、毛叶苕子处理TP含量显著高于其他处理,冬闲处理最低。TK含量黑麦处理最高,其次是毛叶苕子+黑麦,显著高于黑麦草处理,与其他处理间差异不显著;二月兰、毛叶苕子、毛叶苕子+二月兰处理平均值为3.4%,高于黑麦草和冬闲,差异显著。

表2 不同处理地上部与地下部养分含量

处理	TC (%)	TN (%)	C/N	TP (%)	TK (%)
冬闲	41.2±0.9b/38.2±0.9c	1.5±0.1d/15±0.3d	28.2±2.6a/21.1±0.1a	0.3±0.1d/0.4±0.1c	3.10±0.00c/3.10±0.10c
二月兰	41.5±0.5b/38.0±0.4c	2.2±0.0c/2.9±0.5b	18.7±0.9b/13.1±0.1c	0.4±0.0c/0.4±0.0c	3.40±0.05b/3.40±0.01b
毛叶苕子	41.5±0.7b/36.7±0.3d	3.8±0.1a/3.9±0.1a	10.9±0.1d/9.4±0.2d	0.7±0.0a/0.6±0.1ab	3.30±0.09b/3.20±0.01c
黑麦草	40.4±1.1c/44.0±0.8a	2.4±0.1c/1.9±0.2d	16.6±0.7b/23.2±0.6a	0.7±0.0a/0.7±0.0a	3.10±0.02c/3.10±0.03c
黑麦	43.6±0.2a/40.0±0.6b	1.5±0.0d/2.3±0.6c	29.9±1.6a/17.4±1.0b	0.5±0.0c/0.5±0.1b	3.70±0.07a/3.60±0.02a
毛叶苕子+二月兰	41.2±0.6b/37.9±0.2c	2.9±0.0b/3.1±0.3b	14.5±0.7c/12.2±0.4c	0.6±0.0b/0.5±0.0b	3.40±0.05b/3.20±0.01c
毛叶苕子+黑麦	42.9±1.5ab/39.3±1.0b	2.3±0.2c/3.0±0.0b	18.6±0.4b/13.1±0.5c	0.6±0.0b/0.5±0.1b	3.50±0.01ab/3.4±0.02b

注:表中/前后数据分别为地上部与地下部养分含量。

总之,不同绿肥处理TC、TN、TP、TK养分含量有较大差异,C/N因而也不同,豆科作物C/N最小,禾本科作物黑麦C/N最大;养分含量不同,主要是C/N差异会影响冬绿肥本身养分吸收、累积、腐解和释放,从而对整个生态系统中养分积累与循环和后茬作物吸收与利用产生较大的影响。

2.3 冬绿肥养分累积特征

从图1可以看出,冬绿肥处理氮、磷、钾累积吸收量显著高于冬闲处理。各绿肥处理地上部氮吸收量在137.2~78.7 kg/hm²之间,毛叶苕子处理最高,黑麦处理最低;地下部氮吸收量在42.8~54.2 kg/hm²之间,二月兰处理最高,黑麦草处理最低。毛叶苕子处理氮吸收总量最高,为183.3 kg/hm²,显著高于其他处理;其次是二月兰、毛叶苕子+黑麦和毛叶苕子+二月兰处理,显著高于黑麦和黑麦草处理,前三者和后二者间均差异不显著。各绿肥处理地上部磷吸收量在20.2~25.9 kg/hm²之间,毛叶苕子处理最高,二月兰处理最低;地下部磷吸收量在6.6~16.0 kg/hm²之间,黑麦草处理最高,毛叶苕子处理最低。黑麦草处理磷总吸收量最高,

为39.9 kg/hm²,显著高于其他处理;其次是毛叶苕子、黑麦和毛叶苕子+黑麦处理,磷累积吸收量32.5 kg/hm²,高于毛叶苕子+二月兰和二月兰处理,且差异显著;毛叶苕子+二月兰磷吸收量最低,为28.7 kg/hm²,与二月兰间差异不显著。各绿肥处理地上部钾吸收量在103.0~183.8 kg/hm²之间,黑麦处理最高,黑麦草处理最低;地下部钾吸收量在37.7~77.7 kg/hm²之间,黑麦处理最高,毛叶苕子处理最低。黑麦处理钾总吸收量最高,为261.4 kg/hm²,显著高于其他处理(二月兰除外);其次是二月兰处理,显著高于毛叶苕子处理;毛叶苕子+黑麦处理钾累积吸收量显著高于毛叶苕子处理;毛叶苕子钾吸收量最低,为162.9 kg/hm²,与毛叶苕子+二月兰和黑麦草处理间差异不显著。

总之,冬绿肥处理氮、磷和钾累积吸收量是由其生物产量和植株含氮、磷、钾量共同决定的。6个冬绿肥处理生长期间均有较高氮、磷、钾吸收,以毛叶苕子氮吸收最高,以黑麦草磷吸收最高,黑麦钾吸收最高,绿肥混播处理总氮吸收量介于两种单播绿肥作物氮、磷和钾吸收量之间。

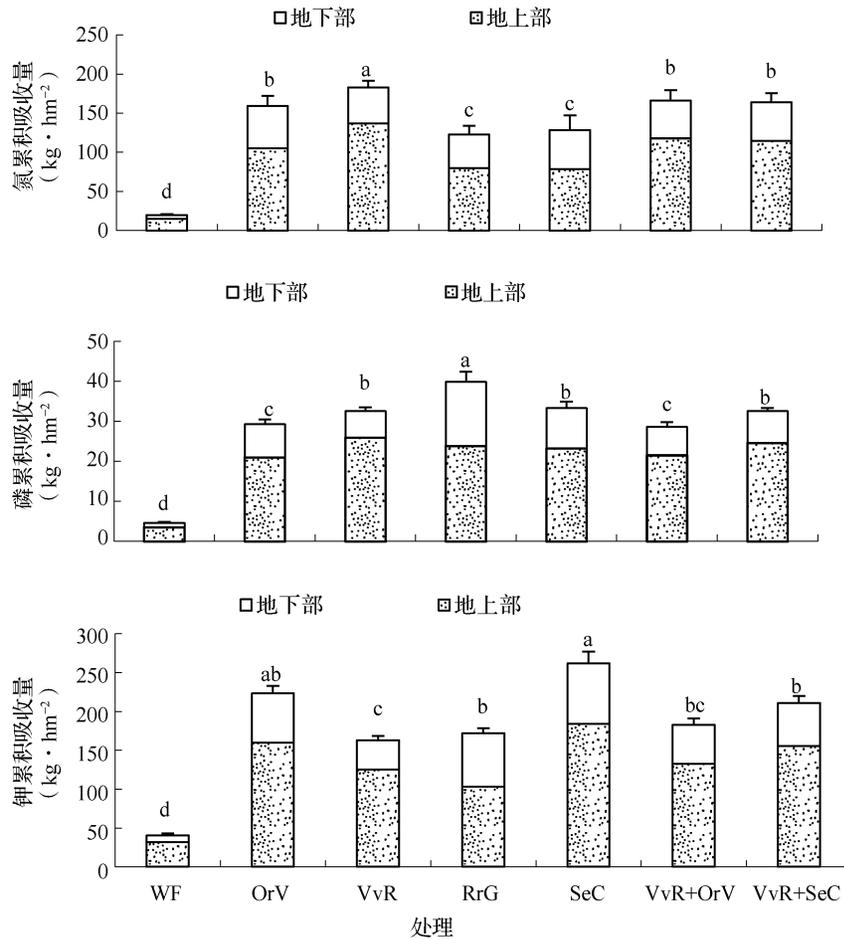


图1 冬绿肥生长季内氮、磷、钾养分累积

注：图中数据为平均值（n=3）；不同小写字母表示差异达5%显著水平。下同。

2.4 冬绿肥种植对翻压前土壤养分的影响

由图 2a 可见，冬绿肥处理土壤硝态氮含量显著低于冬闲处理，降幅为 8.46% ~ 46.86%，毛叶苕子处理土壤硝态氮降低量最小，降低值为 2.14 mg/kg，与其他处理间差异显著；二月兰和黑麦处理降低量最大，与其他绿肥处理间差异显著，二者间无显著差异；黑麦草、毛叶苕子+二月兰、毛叶苕子+黑麦处理间无显著差异。与冬闲处理相比，绿肥处理土壤铵态氮含量呈现增加趋势，平均增加 1.49 mg/kg，除黑麦草处理外，均达到 5% 显著差异水平。毛叶苕子+二月兰处理土壤铵态氮含量最高，为 5.14 mg/kg，高于毛叶苕子+黑麦处

理，但差异不显著（图 2b）。从图 2c 可以看出，绿肥处理土壤有效磷含量呈降低的趋势，二月兰和毛叶苕子处理与冬闲处理间差异不显著；其余绿肥处理土壤有效磷含量平均降低 4.85 mg/kg，差异显著；黑麦草处理土壤有效磷含量最低，为 19.04 mg/kg，与毛叶苕子+二月兰、毛叶苕子+黑麦和黑麦处理间差异显著。冬绿肥处理土壤速效钾含量显著高于冬闲处理，增幅为 14.70 ~ 31.87 mg/kg，二月兰处理增量最高，与毛叶苕子+黑麦处理差异不显著，与其他绿肥处理差异显著。毛叶苕子、黑麦草、黑麦和毛叶苕子+二月兰处理间差异不显著（图 2d）。

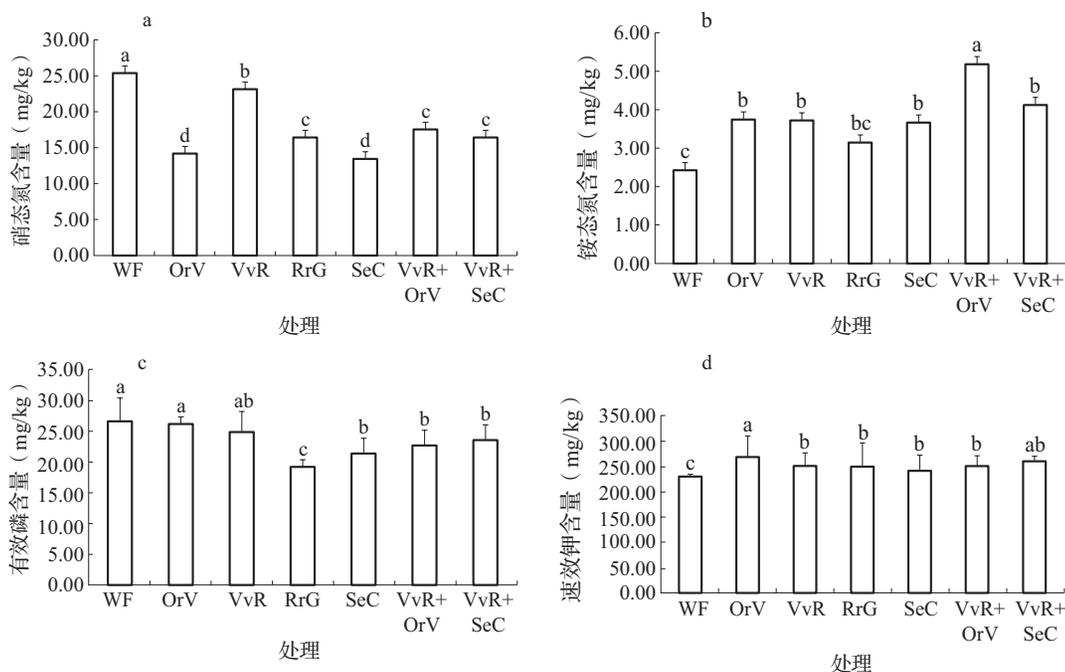


图2 不同处理对翻压前土壤养分的影响

3 讨论

3.1 冬绿肥生物产量及养分吸收

华北平原光热资源大部分能够满足一年两茬作物种植,但是由于水资源等因素的影响,冬小麦面积逐年下降,而冬绿肥有望弥补由于冬小麦缺失而导致的耕地裸露。春玉米-冬绿肥轮作模式对于周围生态环境以及地力培育意义重大、前景广阔。在华北地区能够与春玉米进行轮作的冬绿肥作物一般应当拥有生物产量大,碳、氮、磷、钾等养分含量较高,总养分吸收累积量高,物候期能够与主作物春玉米生育期匹配,且种植生长和利用可控等特点。研究表明,二月兰、毛叶苕子、黑麦、黑麦草及其混播地上部及总生物产量均超过了3400和4992 kg/hm²。因为试验地处北方,光、热和水资源远逊于南方,但是黑麦、二月兰生物产量和南方种植的紫云英和黑麦草的生物产量(4000~10000 kg/hm²)相当^[21-22],远高于澳洲的黑麦和黑麦草地上部生物量(4000~5000 kg/hm²)^[23-24]。本文中为了明确冬绿肥生长期间养分累积及对土壤养分的影响,在冬绿肥种植后进行一次灌水以利出苗,灌水量较小,每公顷30 t。实际应用过程中是在玉米收获前将绿肥种子撒播至玉米田中,无需灌水,翌年冬绿肥生物量也能达到每公顷3.4 t以上。也就是在冬绿肥生长季完全可以不浇水就能达到高生物

量,且具有可持续性。冬绿肥碳、氮、磷、钾养分累积也是能否当作本地区适宜冬绿肥的关键因素。研究证实,6个冬绿肥处理氮、磷、钾累积吸收量在123.0、28.7、162.9 kg/hm²以上,将其翻压入土,能够为下茬玉米提供高养分有机肥料。毛叶苕子根系生物量较低,依然有较高氮、磷累积;二月兰根系非常发达,氮、钾累积量较高;黑麦有较高的磷、钾养分累积。黑麦草磷累积较高,氮、钾累积相对较低。

3.2 冬绿肥种植对翻压前土壤养分的影响

绿肥作物通过吸收土壤中营养物质加强种植系统中营养物质循环,否则这些营养物质可能会淋溶出土壤层。这些过多的营养物质能够污染地下水,从而降低土壤生产能力。氮素以硝态氮形态下最易溶于水,因此更易被淋溶。在玉米生长季末的氮素主要以硝态氮存在,主要由玉米没有用完的氮素和有机质分解释放的氮构成。研究结果显示,冬绿肥种植与生长较冬闲对照土壤硝态氮含量显著降低。该结果与国内外一些研究结论相一致^[13, 25]。土壤硝态氮减少最多的为黑麦和二月兰处理,二者根系发达,生物量大(表1),吸收较多氮素和水分用于自身生长。黑麦草处理根系发达,但整体生物量小(表1),相对吸收的氮素也少。毛叶苕子是豆科作物,固氮性能较高,氮素累积量高(图1),土壤硝态氮含量亦较高,然而,与毛叶苕子混播两

个处理虽然也有毛叶苕子的固氮作用,但是耕层无机氮含量显著降低,其原因可能是与混播毛叶苕子固定氮素被混播中二月兰或黑麦吸收,形成较大生物产量有关。总之,冬绿肥-春玉米轮作田土壤硝态氮显著降低,从而有效降低冬春季节土壤氮素淋失风险。

研究发现种植冬绿肥土壤无机氮构成有所改变,不同处理土壤硝态氮含量均显著降低,而铵态氮含量呈增加趋势。硝态氮减少的主要原因可能是冬绿肥生长对氮素的吸收。各绿肥处理土壤铵态氮含量增加程度均高于冬闲处理,其中混播处理增加量最大,可能是作物生长过程中根际土壤微生物作用会促进土壤硝态氮向铵态氮转化有关^[26]。然而,不同冬绿肥对翻压前土壤氮素转化的效应差异及其机制还需要进一步验证。

与冬闲对照相比,种植冬绿肥土壤有效磷含量显著降低,最主要原因是冬绿肥生长吸收了较高的磷素(28.7~39.9 kg/hm²)。黑麦草虽然生物产量相对较低,但其有强大延展型根系,可能在其生长过程中根系分泌更多有机酸类物质,这些酸类物质可以将闭蓄态磷(OP)、磷灰石(Ca₁₀-P)及磷酸铁盐(Fe-P)转化为磷酸二钙(Ca₂-P)、磷酸八钙(Ca₈-P)及磷酸铝盐(Al-P),容易被作物吸收;豆科植物毛叶苕子磷吸收量较高可能是因为其与有益的菌根真菌共生,这些菌根真菌具有一种高效吸收土壤难溶性磷的特性,将磷吸收后传递给与其共生豆科冬绿肥作物,从而吸收转化更多土壤中难溶解的磷素。无论哪种冬绿肥作物都是以有机磷形态保持磷在土壤中循环的有效方式,所以说绿肥种植虽然短期内降低土壤磷供应,实际上促进了磷的有效利用^[27-29]。

另外,本研究发现种植冬绿肥后,土壤速效钾含量显著增加。在冬绿肥生长期间需要从土壤中吸收大量钾素(171.7~261.4 kg/hm²),土壤速效钾含量却增加,可能因为冬绿肥生长期间根系产生大量分泌物将矿物态钾或者缓效态钾转换成速效钾形态,也可能是冬绿肥生长特性影响养分的根表浓度,对主要依靠扩散迁移到根表的养分有效性具有决定性的影响,特别是对于钾素^[30-31]。

4 结论

供试冬绿肥作物具有较好的生态适应性,利用冬闲自然资源获得较高的生物产量及氮磷钾养分吸

收量。冬绿肥提供氮、磷、钾总量在334.5~423.2 kg/hm²之间,黑麦最高,其次是毛叶苕子、二月兰,黑麦草最低。

与冬闲对照相比,冬绿肥翻压前土壤硝态氮含量降幅为8.46%~46.86%,土壤铵态氮含量平均增加1.49 mg/kg,土壤无机氮、有效磷含量呈现降低的趋势,土壤速效钾含量增幅在14.7~31.87 mg/kg之间。种植冬绿肥作物翻压前土壤的硝态氮及有效磷含量显著降低,潜在减少氮素损失的风险,短期降低土壤磷的供应,从而促进了氮、磷的有效利用;同时增加土壤有效钾含量,提高了有机态钾素含量和耕层钾素累积。

参考文献:

- [1] 王俊英,刘永霞,周吉红.北京郊区季节性裸露农田综合治理技术集成与实践[J].作物杂志,2011(1):1-4.
- [2] 王学芳,孙万仓,李孝泽,等.我国北方风蚀区冬油菜抗风蚀效果[J].生态学报,2009,29(12):6572-6577.
- [3] 曹卫东,包兴国,徐昌旭,等.中国绿肥科研60年回顾与未来展望[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1444-1455.
- [4] 王丽宏,曾昭海,杨光立,等.前茬冬季覆盖作物对稻田土壤的生物特征影响[J].水土保持学报,2007,21(1):164-167.
- [5] 李文广,杨晓晓,黄春国,等.饲料油菜作绿肥对后茬麦田土壤肥力及细菌群落的影响[J].中国农业科学,2019,52(15):2664-2677.
- [6] 李燕青,孙文彦,许建新,等.黄淮海地区绿肥与化肥配施对棉花生长和肥料利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1397-1403.
- [7] 刘春增,常单娜,李本银,等.种植翻压紫云英配施化肥对稻田土壤活性有机碳氮的影响[J].土壤学报,2017,54(3):656-668.
- [8] 刘威,秦自果,耿明建,等.冬种绿肥和稻草全量还田对单季稻田土壤理化性质的影响[J].中国土壤与肥料,2017(4):52-58.
- [9] 万水霞,朱宏斌,唐杉,等.紫云英与化肥配施对安徽沿江双季稻区土壤生物学特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):387-395.
- [10] 辜松,刘立意,小松崎将一,等.覆盖作物对土壤物理特性及旋耕作业的影响分析[J].农业机械学报,2005,36(5):41-44,56.
- [11] 孙悦超,麻硕士,陈智,等.植被盖度和残茬高度对保护性耕作农田防风蚀效果的影响[J].农业工程学报,2010,26(8):156-159.
- [12] Chen G H, Ray R W, Robert L H. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability[J]. Soil & Tillage Research, 2014, 136: 61-69.

- [13] 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.
- [14] Brennan E B, Smith R F. Winter cover crop growth dynamics and effects on weeds in the Central Coast of California [J]. Weed Tech, 2005, 119: 1017-1024.
- [15] Brittany R H, Kevin W K, Emily W D, et al. Cover crops differentially influenced nitrogen and phosphorus loss in tile drainage and surface runoff from agricultural fields in Ohio, USA [J]. Journal of Environmental Management, 2021, 293: 112910.
- [16] Thorup K K, Salmerón M, Loges R. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots is this important for N uptake and N leaching losses [J]. Plant and Soil, 2009, 322: 101-114.
- [17] 熊静, 王改兰, 曹卫东, 等. 冬绿肥二月兰-春玉米体系中施肥后的土壤氮挥发特征[J]. 华北农学报, 2013, 28(2): 116-120.
- [18] 杨璐, 曹卫东, 白金顺, 等. 种植翻压二月兰配施化肥对春玉米养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 799-807.
- [19] 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.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [21] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 冬季覆盖作物对南方稻田水稻生理生化及生长特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 67-71.
- [22] 王丽宏, 曾昭海, 杨光立, 等. 冬季作物对水稻生育期土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 381-385.
- [23] Mubiru D N, Coyne M S. Legume cover crops are more beneficial than natural fallows in minimally tilled Ugandan soils [J]. Agron. J., 2009, 101: 644-652.
- [24] Pereirai N S, Soares I, Miranda F R. Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodiregion, Ceará, Brazil [J]. Ciência Rural, 2016, 46(6): 970-975.
- [25] Branko K, Anastazija G, Marjan J, et al. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize [J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(2): 103-109.
- [26] 苗艳芳, 吕静霞, 李生秀, 等. 铵态氮肥和硝态氮肥施入时期对小麦增产的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 91-96.
- [27] 蹇述莲, 李书鑫, 刘胜群, 等. 覆盖作物及其作用的研究进展[J]. 作物学报, 2022, 48(1): 1-14.
- [28] 吴双, 袁联合国, 李利君, 等. 农田杂草还田对土壤磷素形态的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 2984-2995.
- [29] 张成兰, 刘春增, 吕玉虎, 等. 减量化肥配施不同量紫云英对土壤磷素形态及水稻产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 100-106.
- [30] 吴凯, 陈国军, 闫慧峰, 等. 籽粒苋与烟草间作后还田对烟草钾吸收和土壤钾有效性的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(6): 45-55.
- [31] 李小坤, 鲁剑巍, 吴礼树, 等. 油菜-水稻轮作下根区与非根区红壤性水稻土钾素变化研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 508-514.

Study on green manure crops nutrient accumulation and effect on soil nutrients before returning in north China

ZHAO Qiu, ZHANG Xin-jian, NING Xiao-guang (Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300192)

Abstract: Field experiments were used to study the the ecological adapt ability of winter green manure in North China. Seven treatments including winter fallow, *Orychophragmus violaceus*, hairy vetch, rye, ryegrass, hairy vetch + *Orychophragmus violaceus*, hairy vetch + rye were set up to analyze the nutrient accumulation and its effect on soil nutrients before returning. The results showed that the biomass of green mature before returning was 4991 ~ 7262 kg/hm², and the cumulative absorption of nitrogen, phosphorus and potassium was 121.5 ~ 191.4, 26.8 ~ 41.9, and 140.7 ~ 261.5 kg/hm², respectively, which was significantly higher than that of the winter fallow treatment. The absorption of nitrogen in hairy vetch was the highest, and that of phosphorus and potassium in rye was the highest. The content of soil nitrate nitrogen and available phosphorus decreased significantly, while the content of soil available potassium increased significantly before the winter green manure returning. The results provide theoretical support for the reduction of soil nitrogen and phosphorus leaching and potassium fixation by planting winter green manure.

Key words: winter green manure; nutrient accumulation; soil nutrients; nitrogen leaching; potassium fixation