

晋西南褐土上小麦苜蓿套作对土壤氮素及植物吸氮的影响

李恩慧¹, 王玉慧¹, 杨慎骄², 穆阳阳¹, 张晓红^{1*}

(1. 山西师范大学地理科学学院, 山西 临汾 041000; 2. 中国农业科学院农田灌溉研究所, 河南商丘农田生态系统国家野外科学观测研究站, 河南 商丘 476000)

摘要: 研究冬小麦和苜蓿不同种植模式在不同生长期土壤氮素的变化特征, 以为粮草混播种植模式提供参考依据。依托 2014 年在晋西南开展的田间试验, 于 2017 和 2018 年研究了小麦单播、苜蓿单播和小麦苜蓿混播的作物产量以及土壤剖面氮素特征。结果表明: (1) 两个试验年份内小麦苜蓿混播增加了作物生物量且小麦植株茎叶和籽粒氮含量均高于小麦单播; 相比任一单作, 小麦苜蓿混播显著提高了作物植株氮积累总量。(2) 种植方式影响表层 (0 ~ 30 cm) 土壤硝态氮含量, 3 月春季返青时苜蓿单播高于小麦单播和混播处理, 6 月麦收时小麦单播和混播均高于苜蓿单播; 苜蓿单独生长期 (10 月) 200 cm 深土壤剖面硝态氮含量依次为小麦单播 > 混播 > 苜蓿单播。不同生长期小麦单播硝态氮随土壤剖面垂直淋失并于土壤深层大量累积, 而小麦苜蓿混播后缓解了硝态氮的垂直淋失现象。(3) 小麦返青时 0 ~ 30 cm 土层苜蓿单播土壤铵态氮含量略高于小麦单播和混播, 小麦地休耕苜蓿单独生长期 200 cm 深小麦单播铵态氮含量低于苜蓿单播和混播。(4) 越冬期 (前一年 10 月 ~ 3 月) 小麦苜蓿混播土壤无机氮得到了累积, 小麦苜蓿共生期 (3 ~ 6 月) 土壤无机氮处于消耗阶段, 麦收后苜蓿单独生长期 (6 ~ 10 月) 无机氮又得到了补充。

关键词: 套作; 铵态氮; 硝态氮; 苜蓿; 小麦

氮素作为植物生命活动的物质基础, 对植物生长和生理代谢都有着重要作用^[1]。自然界中土壤氮素 80% 以上以有机态的形式存在, 由于氮素养分释放时间和强度不同, 在转变为无机态氮时易通过氨挥发、硝化-反硝化和淋洗等途径损失^[2-3]。在农业生产中, 施用氮肥和种植豆科植物成为氮素供应的主要途径。但是研究表明, 长期过量施用氮肥会使氮素在土壤中不断累积并残留于深层土壤, 导致农田生态系统氮素盈余, 从而降低氮素利用率, 进而影响作物经济效益, 甚至还会造成生态环境问题^[4], 因此种植豆科植物成为研究土壤氮素的重要内容。通常人们会把豆科植物搭配禾本科粮食作物进行间作或套作, 合理的套作模式能够有效地抑制土壤养分淋溶, 提高农田养分利用效率^[5]。例

如, 禾本科作物间套作豆科作物豌豆可降低土壤硝态氮淋洗, 提高氮肥利用率, 是改善农田生态系统中土壤养分淋失的有效措施^[6]。

苜蓿作为典型豆科牧草植物, 产草量高, 能够通过根瘤固氮微生物共生进行生物固氮, 固定空气中游离氮素, 进而改善土壤肥力^[7-9]。豆科作物与禾本科作物对土壤有效氮吸收利用不同, 有关小麦套种苜蓿对土壤氮素淋失影响研究报道仍不多见。本研究利用田间试验探讨了小麦和苜蓿套种中作物产量以及植株氮含量的变化特征, 旨在阐明不同种植模式下土壤无机氮剖面分布, 探求晋西南地区如何通过合理有效的粮草套作种植方式实现农田生态系统的绿色发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

大田试验于 2014 年 4 月在山西省临汾市尧都区东杜村 (35° 55' N, 111° 34' E) 开展, 耕作制度为冬小麦-苜蓿套作, 本试验选取 2017 和 2018 年两个年度收集的数据。试验地处临汾盆地内, 属于暖温带半干旱气候, 年均气温 12℃, 无霜期 203 d, 年均降水量 550 mm, 年均日照时数为 1 784 ~

收稿日期: 2019-09-15; 录用日期: 2019-12-16

基金项目: 河南商丘农田生态系统国家野外科学观测研究站开放课题“小麦/苜蓿间作农田土壤水分、养分循环规律研究”(CNERN-SQ-2017-10); 山西省留学回国人员资助项目 (0503, 02040067)。

作者简介: 李恩慧 (1994-), 女, 甘肃白银人, 硕士研究生, 主要从事农业生态与土壤学方面研究。E-mail: 2680743237@qq.com。

通讯作者: 张晓红, E-mail: zhx_1976@163.com。

2 512 h, 2017 和 2018 年气象状况如图 1 所示。供试土壤属于褐土, 试验前土壤基本理化性质: pH 值 8.05, 有机质 21.51 g/kg, 全氮 1.18 g/kg, 碱解氮

53.82 mg/kg, 全磷 0.60 g/kg, 有效磷 10.59 mg/kg, 全钾 20.85 g/kg, 速效钾 235.55 mg/kg, 土壤容重为 1.51 g/cm³。

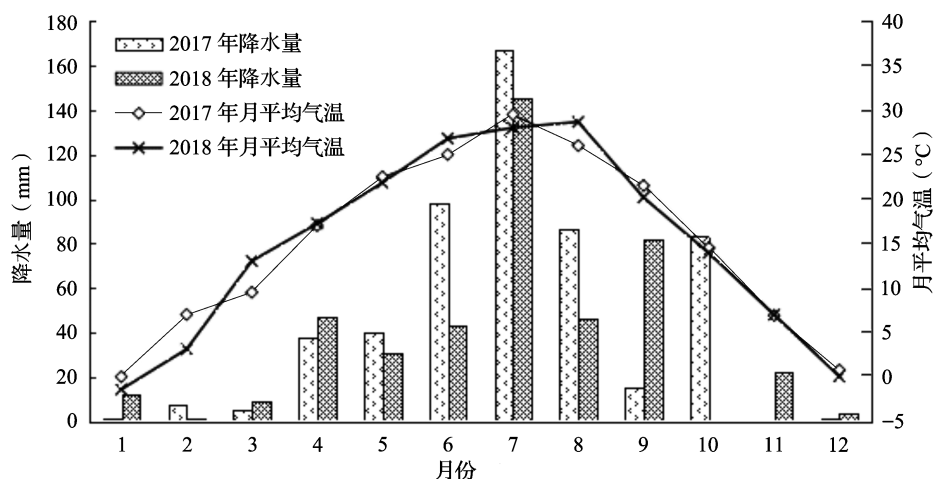


图 1 2017 和 2018 年月平均气温与降水量

1.2 试验设计

供试小麦品种为晋麦 95, 苜蓿为当地紫花苜蓿。试验采取随机区组设计, 设小麦单播、苜蓿单播、小麦苜蓿混播共 3 个处理, 小区面积 50 m², 3 次重复。小麦于每年 10 月上旬采用机械播种, 行距 18 cm, 播种量 225 kg/hm²。苜蓿于 2014 年 4 月种植, 播种量 18 kg/hm², 行距为 40 cm。小麦苜蓿套作是在苜蓿行间 (行距为 40 cm) 机械条播播种小麦一行, 播种量与小麦单播一致。种麦前统一施用复合肥, 用量 N 211.1 kg/hm²、P₂O₅ 166.7 kg/hm²、K₂O 66.7 kg/hm², 生育期各小区要求灌溉时间、灌水量一致, 并实施统一人工除杂草等田间管理。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株产量和含氮量

小麦于 6 月初麦收前, 苜蓿分别于 6 月初和 9 月初刈割并进行生物量样品采集和测产。测产时, 每个处理随机选取 3 个 1 m² 样区, 取平均值。苜蓿植株齐地刈割后称鲜重, 随机采集部分鲜样放置在 70℃ 条件下烘干至恒重, 测干鲜比以计算产量 (苜蓿生物量和产量均以干重计), 然后将烘干样品粉碎测定氮含量^[10]; 小麦植株地上部分为茎叶、籽粒, 分别烘干粉碎后测定氮含量, 并考种、测产。氮含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解、连续流动分析仪 (AA3, 德国 SEAL Analytical) 进行测定^[11]。

1.3.2 土壤无机氮含量

土壤无机氮含量分别于返青后 (3 月)、麦

收后 (6 月)、小麦地休耕苜蓿单独生长后期 (10 月) 用土钻取 0 ~ 30、30 ~ 60、60 ~ 100、100 ~ 150、150 ~ 200 cm 土壤样品, 风干后过筛, 用 0.01 mol/L CaCl₂ 浸提后, 流动分析仪测定土壤铵态氮和硝态氮含量^[12]。

1.4 计算公式

植株氮积累量 (kg/hm²) = 植株生物量 × 植株氮含量^[13]

籽粒氮积累量 (kg/hm²) = 籽粒产量 × 籽粒氮含量^[13]

土壤无机氮累积量 (kg/hm²) = 土层厚度 (cm) × 土壤容重 (g/cm³) × 土壤无机氮含量 (mg/kg) / 10^[14], 其中土壤无机氮含量为铵态氮与硝态氮含量总和。

1.5 数据统计

试验数据采用 Excel 2010 和 OriginPro 8.0 进行汇总处理及制图, 采用 SPSS 21.0 软件进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 小麦苜蓿产量、植株氮含量及其作物携出氮量

由表 1 可知, 2017 和 2018 年混播小麦生物量和籽粒产量均低于单播小麦且差异显著 ($P < 0.05$), 可能与这两年气候条件以及混播中苜蓿的生长有关。从植株氮含量来看, 小麦与苜蓿

混播后，混播小麦茎叶和籽粒氮含量显著高于单播小麦，其中两年间混播小麦茎叶氮含量较单播小麦分别提高了12.5%、8.0%，籽粒氮含量分别提高了8.5%、14.0%。从作物携出氮量来看，小麦籽粒氮积累量高于茎叶氮积累量，混播小麦茎叶氮积累量和籽粒氮积累量均低于单播小麦，表明小麦苜蓿混播后对小麦籽粒氮含量影响更大，苜蓿生长对小麦茎叶和籽粒氮积累量均有影响。两年间混播苜蓿生物量、植株氮含量和作物携出氮量均低于单播苜蓿且差异显著，生物量较单播苜蓿降低了13.2% ~ 17.0%，植株氮含量降低了3.6% ~ 15.5%，作物携出氮量降低了20.0% ~ 26.7%，表明

在小麦苜蓿混播中，苜蓿生长也会受到小麦的影响，植株氮含量会因小麦对氮素吸收而降低。

整体而言，两年间混播生物量与单播小麦不尽相同，2017年混播生物量高于单播小麦，2018年则略低于单播小麦，但生物量差异未达显著水平。与单播苜蓿相比，混播显著提高了生物量，其中2017年较单播苜蓿提高了43.0%，2018年提高了73.3%。2017和2018年混播植株氮积累总量比单播小麦分别提高了41.6%、21.2%，比单播苜蓿分别提高了19.4%、59.6%。总之，小麦苜蓿混播具有明显增产优势。

表 1 小麦和苜蓿的产量、植株氮含量以及作物携出氮量

年份	种植模式与作物	生物量 (kg/hm ²)	籽粒产量 (kg/hm ²)	植株氮含量 (g/kg)		作物携出氮量 (kg/hm ²)		
				茎叶	籽粒	茎叶氮积累量	籽粒氮积累量	植株氮积累总量
2017	单播小麦	7 617.3aA	4 727.7a	5.17b	26.11b	39.4	123.4	162.8
	混播小麦	4 598.6b	2 517.2b	5.91a	28.54a	27.2	71.8	99.0
	单播苜蓿	4 975.7aB	—	45.22a	—	225.0	—	225.0
	混播苜蓿	4 129.4b	—	43.60b	—	180.0	—	180.0
	混播作物	8 728.0A	2 517.2	—	—	207.2	71.8	279.0
2018	单播小麦	11 469.1aA	7 502.0a	5.07b	24.95b	58.1	187.2	245.3
	混播小麦	8 230.5b	6 025.8b	5.51a	29.02a	45.2	173.7	218.9
	单播苜蓿	2 855.7aB	—	44.0a	—	125.7	—	125.7
	混播苜蓿	2 477.4b	—	37.2b	—	92.2	—	92.2
	混播作物	10 707.9A	6 025.8	—	—	137.4	173.7	311.1

注：同列数字后不同小写字母表示同种作物类型在 0.05 水平上差异显著，不同大写字母表示不同播种方式在 0.05 水平上差异显著。

2.2 土壤铵态氮与硝态氮剖面分布

表层土壤（0 ~ 30 cm）硝态氮含量，两个年份均表现为在小麦3月返青时苜蓿单播比小麦单播和混播大约高了一倍（图2），30 ~ 200 cm 土层小麦单播硝态氮含量随土壤深度加深不断增加，苜蓿单播和混播硝态氮含量随其深度先增加后下降，且150 ~ 200 cm 土层苜蓿单播和混播硝态氮含量均低于小麦单播。6月麦收时3个处理土壤剖面硝态氮含量与3月份相比均有所下降，随深度变化趋势基本一致，均是于30 ~ 100 cm 深度范围内处于低值区，但各处理之间硝态氮含量差异较3月份变小，其中苜蓿单播表层土壤（0 ~ 30 cm）硝态氮含量只有5.08 mg/kg（两年均值），远低于单播小麦和混播处理，与3月份相比大幅降低。深层150 ~ 200 cm 处硝态氮含量较3月份增加了42.1%

（两年均值，下同）。混播处理60 ~ 100 cm 层硝态氮含量较3月份降低70.5%，小麦单播60 cm 层以下较3月份降低了20.9%。10月份经历了一段小麦地休耕苜蓿单独生长的时段之后，土壤剖面各处理硝态氮含量依次为小麦单播 > 混播 > 苜蓿单播，各处理硝态氮含量随着土壤剖面加深整体呈现增加趋势，小麦单播和混播处理30 ~ 100 cm 深度土壤硝态氮含量较6月份明显增加，表明小麦的生长需要是土壤硝态氮消耗的主要原因，而苜蓿虽有固氮作用，但依然对土壤硝态氮有消耗，尤其是深层土壤。

2017和2018年3月返青时3个处理土壤铵态氮含量与硝态氮含量相比较低，随土壤深度加深大体呈减少趋势，表层0 ~ 30 cm 在5.5 ~ 6.5 mg/kg 之间，深层（200 cm）4.5 mg/kg 左右（图3）。其中

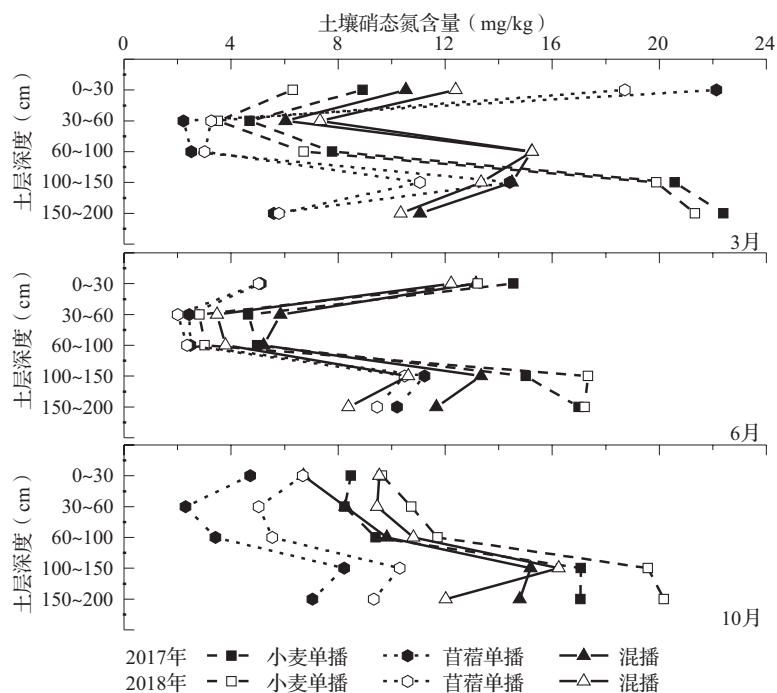


图2 0 ~ 200 cm 土壤硝态氮含量

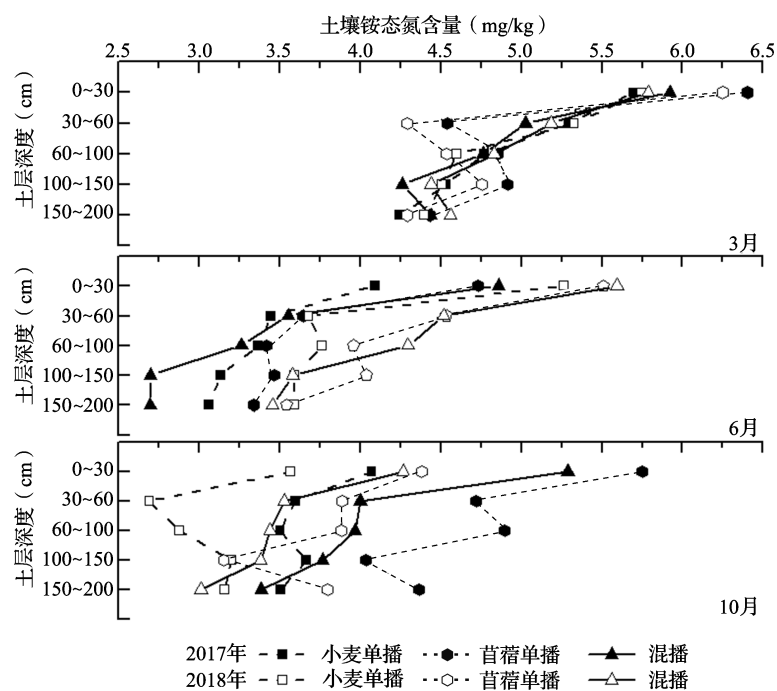


图3 0 ~ 200 cm 土壤铵态氮含量

苜蓿单播 0 ~ 30 cm 层铵态氮含量略高于小麦单播和混播处理, 到 60 cm 层处降低了近三分之一, 明显低于另外两个处理, 但在 60 ~ 150 cm 深度范围内不降反升; 混播处理铵态氮含量随深度变化与小麦单播非常相近。6 月麦收后各处理 0 ~ 30 cm 层土壤铵态氮含量与 3 月返青后相比显著降低, 但全

剖面分布情况依然呈现随深度增加而减少的趋势, 小麦单播和苜蓿单播较 3 月返青时降低了近 20%, 混播降低了 10% 左右。10 月经过小麦地休耕苜蓿单独生长期后表层 (0 ~ 30 cm) 土壤苜蓿单播和混播铵态氮明显高于小麦单播。30 ~ 60 cm 层各处理铵态氮与表层相比仍是大幅减少, 但 60 ~ 200

cm 层小麦单播铵态氮含量随土壤剖面加深持续增加, 到 200 cm 深处甚至超过了混播铵态氮含量。

2.3 不同处理土壤无机氮累积量变化情况

根据苜蓿根系入土深度计算了 2017 和 2018 年土壤无机氮累积量, 土壤无机氮累积量为正值, 表示土壤氮素累积大于消耗, 负值则为相反。表 2 显示, 2018 年越冬期 (前一年 10 月 ~ 3 月) 小麦单播 100 cm 深土壤无机氮累积量均为负值, 苜蓿单播土壤无机氮累积量除 30 ~ 100 cm 层外其他土层均为正值, 混播 100 cm 深土层为正值, 100 ~ 200 cm 土层则为负值, 表明小麦前期发芽、出苗以及分蘖等一系列生长过程消耗了土壤无机氮, 苜蓿表层因

刈割后腐殖质增加, 深层则因根系固氮等因素导致土壤无机氮均处于累积阶段, 混播则具有小麦和苜蓿共同生长所影响的无机氮变化特征。小麦苜蓿共生期 (3 ~ 6 月) 小麦单播 0 ~ 30 cm 层土壤无机氮累积量为正值, 30 ~ 200 cm 层则为负值, 苜蓿单播除 30 ~ 100 cm 层土壤无机氮累积量略有累积外, 其他土层均为负值, 混播 200 cm 深土壤无机氮累积量均为负值, 表明此阶段正值小麦和苜蓿生长旺盛期, 两种植物生长过程对土壤无机氮的消耗都较为强烈, 故土壤剖面无机氮累积量多为负值。麦收后苜蓿单独生长期 (6 ~ 10 月) 小麦单播和混播 0 ~ 30 cm 层土壤无机氮累积量均为负值, 30 ~

表 2 2017 和 2018 年不同处理土壤剖面无机氮累积量

(kg/hm²)

年份	处理	土层深度 (cm)	越冬期 (前一年 10 月 ~ 3 月)	小麦苜蓿共生期 (3 ~ 6 月)	麦收后苜蓿单独生长期 (6 ~ 10 月)	整个生长期 (3 ~ 10 月)
2017	小麦单播	0 ~ 30	-4.9	22.9	-23.9	-1.0
		30 ~ 100	-22.8	-19.3	44.0	24.7
		100 ~ 200	—	-46.5	37.3	-9.2
		0 ~ 200	—	-42.9	57.4	14.5
	苜蓿单播	0 ~ 30	55.7	-70.3	11.8	-58.5
		30 ~ 100	-11.7	14.1	2.9	17.0
		100 ~ 200	—	-82.8	-34.1	-116.9
		0 ~ 200	—	-139.0	-34.1	-158.4
	混播	0 ~ 30	71.6	-43.8	-26.9	-70.7
		30 ~ 100	46.3	-67.8	44.6	-23.2
		100 ~ 200	—	-115.6	50.2	-65.4
		0 ~ 200	—	-227.2	67.9	-159.3
2018	小麦单播	0 ~ 30	-5.6	28.8	-23.6	5.2
		30 ~ 100	-39.7	-20.8	77.7	56.9
		100 ~ 200	-13.7	-69.0	118.6	49.6
		0 ~ 200	-59.0	-61.0	172.7	111.7
	苜蓿单播	0 ~ 30	47.0	-55.6	2.3	-53.3
		30 ~ 100	-10.5	13.1	15.4	28.5
		100 ~ 200	69.9	-25.4	-22.6	-48.0
		0 ~ 200	106.4	-67.9	-4.9	-72.8
	混播	0 ~ 30	27.7	-1.6	-18.0	-19.6
		30 ~ 100	8.7	-68.6	65.9	-2.7
		100 ~ 200	-30.8	-60.6	72.9	12.3
		0 ~ 200	5.6	-130.8	120.8	-10.0

注: 正值表示累积大于消耗, 负值表示消耗大于累积, “—” 为未取样。

200 cm 层均为正值, 苜蓿单播 100 cm 深土壤无机氮累积量为正值, 100 ~ 200 cm 深土层则为负值, 表明植物生长对土壤无机氮影响较大, 小麦地休耕后土壤剖面无机氮基本处于累积阶段, 苜蓿生长 3 ~ 4 年根系入土深度约为 150 cm, 由于根系对土壤无机氮影响较大, 此阶段 100 ~ 200 cm 深土壤无机氮均有所消耗。

从不同处理全剖面土壤无机氮累积量来看, 虽然整个生长期 (3 ~ 10 月) 因苜蓿生长周期较长, 使得苜蓿单播和混播土壤无机氮累积量均为负值。但就植物生长期而言, 种植方式对土壤无机氮累积量的影响不同。越冬期 (前一年 10 月 ~ 3 月) 混播和苜蓿单播土壤无机氮累积量为正值, 表明此阶段因苜蓿固氮功能使得混播无机氮得到了累积。小麦苜蓿共生期 (3 ~ 6 月), 正值植物生长主要时期, 各处理土壤无机氮均为负值, 由于两种植物同时对土壤氮素的吸收利用导致混播土壤无机氮累积量远低于苜蓿和小麦单播。麦收后苜蓿单独生长期 (6 ~ 10 月) 小麦单播和混播土壤无机氮累积量均为正值, 苜蓿单播为负值, 表明植物生长对土壤无机氮累积量影响较大, 麦收后无作物吸收利用使得土壤无机氮处于累积阶段, 苜蓿单播因苜蓿生长仍处于消耗阶段。

3 讨论

3.1 小麦苜蓿产量、植株氮含量及其作物携出氮量

本研究结果表明, 小麦和苜蓿混播后小麦植株生物量和籽粒产量均低于小麦单播, 这可能和两种作物生长过程中苜蓿占据大量空间、影响了光合作用等因素有关, 但苜蓿所具有的固氮功能又促使混播中小麦氮素得以累积, 从而使得植株茎叶和籽粒氮含量高于单播小麦; 相比苜蓿单播, 混播中苜蓿植株氮含量和生物量亦低于苜蓿单播。本研究结果与李冬梅^[15]的小麦/苜蓿间作种间促进作用研究结果一致, 相比单作, 间作降低了苜蓿生物量和植株氮含量, 但提高了小麦植株氮含量。小麦苜蓿混播作物植株氮积累总量远高于任一单播, 进一步印证了豆科牧草套作禾本科小麦能够增加作物产量, 提高粮食品质。整体而言, 在小麦苜蓿套作中农民不仅能够收获相对高品质的小麦粮食产量, 而且还可收获一定数量的苜蓿生物量, 增加一部分经济收入, 也提高了作物氮素利用率。

3.2 种植方式对不同时期铵态氮和硝态氮的影响

土壤氮素只有通过矿化转化为铵态氮、硝态氮才能被植物吸收利用, 但不同种植模式下作物对土壤硝态氮和铵态氮的吸收利用能力差异较大^[16-18]。小麦返青时各处理土壤铵态氮含量高于麦收时和小麦地休耕苜蓿单独生长期, 主要与小麦、苜蓿对土壤氮素吸收利用不同有关。苜蓿单播表层土壤铵态氮含量略高于小麦单播和混播, 这可能与返青后气温升高, 微生物活动频繁, 土壤有机氮矿化速率增强所导致的氮素释放程度不同以及植物根系对氮素吸收利用不同有关。麦收时深层土壤因小麦和苜蓿共同吸收利用使得混播铵态氮含量低于任一单作, 刘晓宏等^[19]在研究中发现, 种植苜蓿后土壤深层铵态氮含量较种植其他作物时高, 与本研究结果基本相同。小麦地休耕苜蓿单独生长期小麦单播铵态氮低于苜蓿单播和混播, 可能与苜蓿的根系固氮作用有关。

由于降水量不同导致土壤硝态氮含量差异较大, 2017 年土壤硝态氮含量低于 2018 年, 可能与 2017 年降水量多且集中于作物生长期 (4 ~ 10 月) 有关, 氮素淋溶作用更为明显。返青时小麦单播和混播表层 (0 ~ 30 cm) 土壤硝态氮含量低于苜蓿单播, 深层 (150 ~ 200 cm) 与表层相反, 这主要是由于返青时小麦对土壤硝态氮吸收利用高于苜蓿, 小麦地表层硝态氮不易被土壤吸附而淋失, 进而在深层土壤中出现了大量累积, 苜蓿单播不存在这种变化特征, 仅受其生长过程根系的影响, 小麦苜蓿混播也呈现和苜蓿单播类似的特征, 这说明小麦苜蓿混播既能缓解小麦地表层土壤硝态氮的快速下降, 也能减轻小麦地深层土壤硝态氮的累积, 提高农田土壤氮素利用率。叶优良等^[20]研究发现, 不同作物间作能够改善因淋失等造成的氮素损失现象, 促进土壤氮素矿化, 进而提高了土壤氮素的利用率。

麦收时苜蓿单播表层土壤硝态氮远低于小麦单播和混播, 可能是因小麦成熟后枯枝落叶大量脱落地表增加了有机氮含量, 而单播苜蓿仍在生长, 枯落物较少且对氮素的吸收利用更为强烈。随着植物生长高峰期的到来, 小麦自身生长对硝态氮吸收超过了其淋失量, 从而降低了深层硝态氮累积, 导致此阶段各处理 100 cm 以内土体, 尤其是 60 ~ 100 cm 深度土壤硝态氮含量整体上低于 3 月返青时, 但是 100 ~ 200 cm 深土壤硝态氮含量只有小麦单

播与3月份相比有所降低。李云等^[21]研究得出夏季生长的苜蓿并不能降低深层土壤硝态氮累积量,苜蓿单播深层硝态氮含量较3月返青时大幅增加,主要原因与苜蓿自身的固氮作用和夏季湿热环境下大量有机氮的矿化有关。

小麦地休耕苜蓿单独生长期各处理硝态氮含量都随土壤深度增加出现了不同程度的增加,总体上小麦单播高于苜蓿单播和混播,但原因可能大不相同,小麦单播主要是由于硝态氮的淋移累积,而单播苜蓿则是苜蓿的豆科固氮作用,由于苜蓿还处于生长期故硝态氮含量低于小麦单播,总体而言自2017年6月后期至10月份阶段性降雨量明显高于2018年,导致2017年10月各处理土壤硝态氮含量大致低于2018年10月。

3.3 种植方式对土壤无机氮累积量的影响

从2017和2018年不同时期土壤剖面无机氮累积量变化特征来看,小麦返青时由于小麦苗期生长使得土壤无机氮有所消耗,而苜蓿单播和混播因苜蓿处于越冬休眠期不仅没有减少氮的消耗,还因上一年苜蓿刈割后腐殖质增加使表层土壤无机氮得到了补充。麦收时小麦单播表层土壤无机氮有所累积,而深层土壤无机氮因其生长均有所消耗,但麦收后则表现为表层土壤氮素减少,深层土壤氮素累积;苜蓿整个生育期的旺盛生长消耗了苜蓿单播和混播土壤无机氮,麦收后苜蓿单独生长期小麦单播和混播除表层有所消耗外,深层土壤无机氮均处于累积阶段,苜蓿单播深层土壤无机氮因苜蓿自身生长仍处于消耗阶段。从整个生育期来看小麦单播和苜蓿单播表层和深层土壤无机氮消耗大于累积,主要与其根系入土深度有关。

4 结论

两个试验年份内小麦苜蓿混播增加了作物生物量且小麦植株茎叶和籽粒氮含量均高于小麦单播;相比任一单作,小麦苜蓿混播显著提高了作物植株氮积累总量。

种植方式影响表层(0~30 cm)土壤硝态氮含量,春季返青时苜蓿单播高于小麦单播和混播处理,麦收时小麦单播和混播均高于苜蓿单播;小麦地休耕苜蓿单独生长期200 cm深土壤剖面硝态氮含量依次为小麦单播>混播>苜蓿单播。不同生长期小麦单播硝态氮随土壤剖面垂直淋失并于土壤深层大量累积,而小麦苜蓿混播后缓解了硝态氮的

垂直淋失现象。

小麦返青时0~30 cm层苜蓿单播土壤铵态氮含量略高于小麦单播和混播,小麦地休耕苜蓿单独生长期200 cm深小麦单播铵态氮含量低于苜蓿单播和混播。

越冬期(前一年10月~3月)小麦苜蓿混播土壤无机氮得到了累积,小麦苜蓿共生期(3~6月)土壤无机氮处于消耗阶段,麦收后苜蓿单独生长期(6~10月)无机氮又得到了补充。

参考文献:

- [1] 赵平, 彭少麟. 植物氮素营养的生理生态学研究[J]. 生态科学, 1998(2): 37-42.
- [2] 巨晓棠, 刘学军, 邹国元, 等. 冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1493-1499.
- [3] Zaman M, Blennerhassett J D. Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 136(3): 236-246.
- [4] Leach K A, Roberts D J. Assessment and improvement of the efficiency of nitrogen use in clover based and fertilizer based dairy systems. 1. Benchmarking using farm gate balances[J]. Biological Agriculture & Horticulture, 2002, 20(2): 143-155.
- [5] 高薪, 张婷瑜. 农田土壤氮素淋失阻控方法研究进展[J]. 农业工程, 2019(3): 99-103.
- [6] 马心灵, 朱启林, 赵胜利, 等. 不同种植模式粮田土壤氮素淋失的研究进展[J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1529-1536.
- [7] 彭昀月, 彭慧元, 韩文轩. 豆科和非固氮植物氮磷利用效率的比较研究[J]. 中国农业大学学报, 2017(6): 48-55.
- [8] 陈光荣, 王立明, 杨如萍, 等. 甘肃不同生态区豆科与非豆科间套作高效栽培技术及其应用前景[J]. 中国农业科技导报, 2017(3): 69-77.
- [9] 牛丹, 黄懿梅, 倪银霞, 等. 不同退耕还草方式下宁夏南部山区土壤氮素转化速率与微生物变化的耦合关系[J]. 环境科学研究, 2015, 28(10): 1586-1595.
- [10] 邵云, 李昊焱, 翁正鹏, 等. 不同茬口对小麦养分利用和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(3): 1041.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [12] 邵孝侯, 胡霭堂, Houba V J G, 等. 0.01 mol·L⁻¹ CaCl₂ 作为土壤不同N素形态浸提剂的研究[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 32-39.
- [13] 杨晓卡, 米慧玲, 高韩钰, 等. 不同栽培模式对冬小麦-夏玉米轮作系统产量、氮素累积和平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1935-1941.

- [14] 侯云鹏, 孔丽丽, 李前, 等. 滴灌施氮对春玉米氮素吸收、土壤无机氮含量及氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报, 2018 (1): 238-245.
- [15] 李冬梅. 小麦/苜蓿间作的土壤微生物多样性和种间促进作用研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2015.
- [16] 任智慧, 陈清, 李花粉, 等. 填闲作物防治菜田土壤硝酸盐污染的研究进展[J]. 环境工程学报, 2003, 4 (7): 13-17.
- [17] 王俊, 刘文兆, 李凤民, 等. 半干旱黄土区苜蓿草地轮作农田土壤氮素变化[J]. 草业学报, 2006, 15 (5): 32-37.
- [18] 韩方虎. 苜蓿草地土壤氮素矿化的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [19] 刘晓宏, 郝明德. 长期种植苜蓿对土壤氮素营养的作用[J]. 中国生态农业学报, 2001 (2): 82-84.
- [20] 叶优良, 李隆, 索东让. 小麦/玉米和蚕豆/玉米间作对土壤硝态氮累积和氮素利用效率的影响[J]. 生态环境, 2008, 17 (1): 377-383.
- [21] 李云, 刘伟, 王朝辉, 等. 不同作物对旱地农田残留硝态氮的利用差异[J]. 生态学报, 2014, 34 (13): 3788-3796.

Effects of alfalfa-wheat intercropping systems on soil nitrogen and plant nitrogen uptake in cinnamon soil of Southwest Shanxi province

LI En-hui¹, WANG Yu-hui¹, YANG Shen-jiao², MU Yang-yang¹, ZHANG Xiao-hong^{1*} (1. College of Geographical Science, Shanxi Normal University, Linfen Shanxi 041000; 2. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, National Agro-ecological System Observation and Research Station of Shangqiu, Shangqiu Henan 476000)

Abstract: The variation characteristics of soil nitrogen in different planting patterns of winter wheat and alfalfa were studied in order to provide reference for different planting patterns of grain and grass. Based on field experiments started in Southwest Shanxi in 2014, crop yield and soil profile nitrogen characteristic of wheat, alfalfa monoculture and wheat-alfalfa intercropping were studied in 2017 and 2018. The results showed that: (1) In the two experimental years, the biomass of wheat-alfalfa intercropping increased, and the nitrogen contents of stem, leaf and grain of wheat were higher than those of wheat monoculture. Compared with any monoculture system, the nitrogen accumulation of wheat-alfalfa intercropping system was increased significantly. (2) Nitrogen content in surface soil (0 ~ 30 cm) was affected by planting pattern. In spring, the nitrogen content in alfalfa monoculture was higher than those of wheat monoculture and wheat-alfalfa intercropping; At wheat harvest, the nitrogen contents in wheat monoculture and wheat-alfalfa intercropping was higher than that of alfalfa monoculture. Nitrate nitrogen content in soil profile of 200 cm depth during the growth period of fallow alfalfa in wheat field was as follows: wheat monoculture>wheat-alfalfa intercropping>alfalfa monoculture. At different growth stages, nitrate nitrogen in wheat monoculture was leached vertically in soil profile and accumulated in deep soil, however, wheat-alfalfa intercropping alleviated the vertical leaching of nitrate nitrogen. (3) Ammonium nitrogen of alfalfa monoculture in 0 ~ 30 cm soil layer was slightly higher than that of wheat monoculture and wheat-alfalfa intercropping in the next spring. The content of ammonium nitrogen in wheat monoculture system in different sections of fallow alfalfa growing period at 200 cm soil depth was lower than that of alfalfa monoculture and wheat-alfalfa intercropping. (4) The soil inorganic nitrogen of wheat-alfalfa intercropping accumulated in the winter period (October of the previous year-March of the next year). During the symbiosis period of wheat and alfalfa (March-June), soil inorganic nitrogen was in the consumption stage; After wheat harvest (June-October), the inorganic nitrogen of single alfalfa was supplemented. In conclusion, compared with any monoculture, wheat-alfalfa intercropping system improved the soil and crop nitrogen levels, and reflected the advantages of wheat-alfalfa intercropping system.

Key words: intercropping; ammonium nitrogen; nitrate nitrogen; alfalfa; wheat