

# 科尔沁沙地二龄紫花苜蓿草地土壤养分及化学计量特征研究

赵力兴<sup>1</sup>, 王琳<sup>2</sup>, 李天琦<sup>1</sup>, 高凯<sup>1</sup>, 王红玲<sup>3</sup>, 柯建武<sup>4</sup>

(1. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028042; 2. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 通辽市森林公园管理处, 内蒙古 通辽 028042; 4. 通辽市草原工作站, 内蒙古 通辽 028042)

**摘要:**为明确科尔沁沙地二龄紫花苜蓿(*Medicago sativa*)草地土壤养分含量及化学计量特征,以原生草地为对照,分层采集0~100 cm土壤样品,分析不同土层土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机碳、全氮、全磷质量分数并计算碳氮磷化学计量比。结果表明:二龄紫花苜蓿草地0~100 cm土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机碳、全氮、全磷质量分数分别为38.58~78.1 mg/kg、23.01~46.08 mg/kg、60.66~119.74 mg/kg、3.136~8.878 g/kg、0.253~0.953 g/kg、0.476~0.783 g/kg,均值较原生草地分别增加62.55%、-6.57%、19.68%、48.30%、100.81%、40.50%;二龄紫花苜蓿草地表层(0~10 cm)土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机碳、全氮、全磷质量分数分别降低53.91%、16.12%、50.09%、66.76%、70.81%、37.65%;在10~100 cm土层,二龄紫花苜蓿草地土壤养分质量分数(除有效磷外)均有所提高;二龄紫花苜蓿草地土壤C/N、C/P、N/P较低,均值分别为9.602、0.992、9.189,C、N、P元素的缺乏程度为C>N>P;土壤全氮质量分数对土壤C/N、N/P的影响最大,土壤有机碳质量分数对C/P的影响最大。

**关键词:**科尔沁沙地;二龄紫花苜蓿草地;土壤养分;化学计量特征

**中图分类号:**S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)05-0076-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyccp.2020.05.011

科尔沁沙地地处半干旱与半湿润气候过渡带,总面积 $5.17 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,是我国北方典型的农牧交错地区和生态环境脆弱区<sup>[1]</sup>。自20世纪以来,由于人口增加和草地资源的不合理开发利用,使土壤结构和性质发生改变,进而导致了科尔沁沙地的形成与发展<sup>[2]</sup>。草地退化是科尔沁沙地形成的主要原因,随着草地退化,草地的生产力下降,生物多样性降低,水土保持能力减弱,土壤肥力下降。这已成为制约该地区农牧业发展

的主要因素。

人工草地因具有保持水土、改良土壤、生产优质饲草的能力,且在盖度、密度、高度、生物量等方面优于天然草地,已成为改良地方水土、提高牧草产量的主要草地<sup>[3]</sup>。紫花苜蓿是植被恢复的优良先锋植物<sup>[4-5]</sup>,在改善土壤结构、提高土壤肥力方面发挥着重要作用。苏永中、杨洋等研究表明紫花苜蓿草地能够驱动土壤固定有机碳和氮素,提高土壤肥力<sup>[6-7]</sup>,张宝泉等<sup>[8]</sup>在渭北旱塬区的研究发现,种植紫花苜蓿可在一定程度上改善土壤质量。蔺芳等<sup>[9]</sup>研究表明紫花苜蓿草地可明显提高土壤碳氮含量。郝明德等<sup>[10]</sup>认为紫花苜蓿草地能提高土壤氮磷含量。

人工紫花苜蓿草地建植是科尔沁沙地重要的生态恢复措施,随着国家政策的支持和人民生态意识的增强,科尔沁沙地大量退化草地被重新规划,进行人工紫花苜蓿草地建植。为确保紫花苜蓿的成活率,该地区紫花苜蓿草地的建植大多于当年7月下旬到8月上旬

**收稿日期:**2019-11-04; **修回日期:**2020-02-28

**基金项目:**内蒙古自治区科技储备项目(2018MDCB03);  
2019内蒙古自治区双一流一带一路项目  
(NMDGJ0018)

**作者简介:**赵力兴(1994-),男,内蒙古兴安盟人,硕士研究生,主要从事饲草高产栽培与利用的研究。

E-mail:1327344218@qq.com

高凯为通讯作者。E-mail:gaokai555@126.com

进行播种,第二年进行生产利用。基于此,本研究以被开垦规划的原生草地为对照,分析二龄紫花苜蓿人工草地的建植对科尔沁沙地土壤养分及化学计量特征的影响,为该区域草地生态系统的保护和修复提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

试验区位于内蒙古通辽市扎鲁特旗南部道老杜苏木(N 44°40', E 121°31', 海拔 214 m),属于中温带大陆性季风气候。一年四季分明,光照充足,年均气温 6.6℃,年均日照时数 2 882.7 h,无霜期 139 d,春旱多风,风沙危害严重,年均降水量 382.5 mm,降水主要集中在 7~8 月,年均蒸发量 1 957 mm,年均有效积温 3 192℃,土壤类型为风沙土。

### 1.2 样地概况

二龄紫花苜蓿草地于 2016 年 7 月 22 日进行建植,品种为草原三号,条播,播量为 22.5 kg/hm<sup>2</sup>,苗期施一次磷酸二胺(N18%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 48%),用量 8 kg/hm<sup>2</sup>。2017 年施用氮磷钾复合肥,总养分 46%(N 16%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15%、K<sub>2</sub>O 15%)。施肥总量为 525 kg/hm<sup>2</sup>,返青期施肥量 300 kg/hm<sup>2</sup>、第 1 次刈割施肥量 75 kg/hm<sup>2</sup>、第 2 次刈割施肥量 150 kg/hm<sup>2</sup>,第 3 次刈割后进行土壤样品的采集。原生草地主要植物种有:茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、沙葱(*Allium mongolicum*)、麻黄(*Ephedra sinica*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)等。

### 1.3 样地的选取与取样方法

2017 年 9 月,分层采集二龄紫花苜蓿草地和原生草地 0~100 cm 土壤样品。二者处于同一坡面、坡度 0°~4°。在每一块试验地上分别选取 3 块 10 m×10 m 的样地作为 3 个重复,所选取的 3 块样地的土地利用类型和土壤母质发育类型基本相同。在每个样地内随机设置 S 形取样点 5 个,去除表土处覆盖物后,用土钻(直径 5 cm)取 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90、90~100 cm 土样。在各样地采集土壤样品,同层混合后去掉杂质(石块和植物残根等)装入塑料袋,带回室内自然风干,研

磨后过筛备用。

### 1.4 样品测定分析

碱解氮采用碱解扩散法测定;有效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定;有机碳采用重铬酸钾氧化-外加热法测定;全氮采用半微量凯氏定氮法测定;全磷采用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-钼锑抗比色法测定<sup>[11]</sup>。

### 1.5 数据处理

数据采用 Excel 2013 整理统计及图表绘制,用 SPSS 19.0 统计软件 Duncan 法对数据进行多重比较和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 二龄紫花苜蓿草地土壤速效养分质量分数

二龄紫花苜蓿草地 0~100 cm 土层土壤碱解氮、有效磷、速效钾均值分别为 60.53、32.30、89.55 mg/kg,分别较原生草地增加 62.55%、-6.57%、19.68%(表 1)。

二龄紫花苜蓿草地土壤碱解氮、有效磷、速效钾质量分数随着土层深度的增加均呈“升-降-升-降”的变化规律,且均在 10~20 cm 土层出现最大值;其中 10~20 cm 土层碱解氮质量分数与 20~30、30~40、60~70 cm 土层无显著差异( $P>0.05$ );10~20 cm 土层有效磷质量分数除与 20~30 cm 土层无显著差异( $P>0.05$ ),显著高于其他各土层( $P<0.05$ );10~20 cm 土层速效钾显著高于其他各土层( $P<0.05$ ),在 0~50 cm 各土层间速效钾质量分数差异显著( $P<0.05$ ),在 50~100 cm 各土层间无显著差异( $P>0.05$ )。原生草地土壤碱解氮和速效钾质量分数随着土层深度的增加逐渐降低,在 0~10 cm 土层质量分数最高,且显著高于其他各土层( $P<0.05$ ),有效磷质量分数无明显的变化规律。

与原生草地相比,二龄紫花苜蓿草地土壤碱解氮质量分数在 0~10 cm 土层显著低于原生草地,增幅为 -53.91%,在其他土层均显著高于原生草地,在 60~70 cm 土层增加最多,增幅为 303.47%( $P<0.05$ );土壤有效磷质量分数在 0~10、30~40 cm 土层均显著低于原生草地,在 10~20、20~30 cm 土层均显著高于原生草地( $P<0.05$ );土壤速效钾质量分数在 0~10 cm 土层显著低于原生草地,增幅为 -50.09%,除 40~50 cm 土层外,其他各土层均显著高于原生草地( $P<0.05$ )。

表 1 二龄紫花苜蓿草地土壤速效养分质量分数

Table 1 Soil available nutrient contents of 2-year-old alfalfa pasture

土层 /cm	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> )			有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )			速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%
0~10	43.81±2.29 <sup>cdB</sup>	95.06±8.05 <sup>aA</sup>	-53.91	35.34±1.37 <sup>bcB</sup>	42.13±1.03 <sup>abA</sup>	-16.12	99.86±0.08 <sup>cB</sup>	199.81±0.12 <sup>aA</sup>	-50.09
10~20	78.1±8.59 <sup>aA</sup>	67.57±1.26 <sup>bB</sup>	15.58	46.08±3.01 <sup>aA</sup>	35.42±3.22 <sup>bcB</sup>	30.07	136.47±4.65 <sup>aA</sup>	96.55±4.67 <sup>bB</sup>	39.86
20~30	74.5±1.53 <sup>aA</sup>	47.33±0.84 <sup>cB</sup>	57.39	41.97±10.07 <sup>abA</sup>	32.15±2.19 <sup>cB</sup>	30.52	119.74±0.13 <sup>bA</sup>	76.55±4.71 <sup>cB</sup>	49.85
30~40	73.97±11.44 <sup>aA</sup>	44.47±5.68 <sup>cB</sup>	66.32	31.06±1.03 <sup>cdB</sup>	46.16±8.83 <sup>aA</sup>	-32.7	89.68±0.37 <sup>dA</sup>	59.93±0.04 <sup>dB</sup>	48.88
40~50	52.93±2.37 <sup>bcA</sup>	32.43±5.19 <sup>dB</sup>	63.21	28.21±1.57 <sup>cdA</sup>	30.48±2.74 <sup>cA</sup>	-7.43	60.66±0.38 <sup>gA</sup>	59.86±0.05 <sup>dA</sup>	1.34
50~60	48.4±1.72 <sup>cdA</sup>	21.27±1.19 <sup>eB</sup>	127.59	29.39±4.04 <sup>cdA</sup>	36.01±2.47 <sup>bcA</sup>	-18.4	76.3±4.54 <sup>eA</sup>	49.95±0.04 <sup>eB</sup>	58.59
60~70	75.88±4.84 <sup>aA</sup>	18.81±1.72 <sup>eB</sup>	303.47	36.35±3.56 <sup>bcA</sup>	31.06±0.21 <sup>cA</sup>	17.01	79.78±0.15 <sup>eA</sup>	49.92±0.02 <sup>eB</sup>	59.46
70~80	62.4±1.76 <sup>bA</sup>	16.56±1.3 <sup>eB</sup>	276.81	24.19±1.85 <sup>dA</sup>	31.31±3.7 <sup>cA</sup>	-22.76	79.91±0.05 <sup>eA</sup>	46.46±4.61 <sup>eB</sup>	61.44
80~90	56.68±4.25 <sup>bcA</sup>	16.2±0.73 <sup>eB</sup>	249.88	23.01±1.03 <sup>dA</sup>	31.73±4.59 <sup>cA</sup>	-27.48	79.89±0.04 <sup>eA</sup>	49.92±0.05 <sup>eB</sup>	60.17
90~100	38.58±0.63 <sup>dA</sup>	12.65±1.14 <sup>eB</sup>	205.06	27.46±4.52 <sup>cdA</sup>	29.3±1.37 <sup>cA</sup>	-6.3	66.6±4.72 <sup>fA</sup>	49.97±0.02 <sup>eB</sup>	39.83
均值	60.53	37.24	62.55	32.30	34.58	-6.57	89.55	74.82	19.68

注:同列小写字母表示不同土层之间差异显著( $P<0.05$ );同行大写字母表示两种草地之间差异显著( $P<0.05$ ),下同

## 2.2 二龄紫花苜蓿草地土壤全量养分质量分数

二龄紫花苜蓿草地 0~100 cm 土层土壤有机碳、全氮、全磷均值分别为 5.387、0.586、0.602 g/kg,较原生草地增幅分别为 48.30%、100.81%、40.50% (表 2)。

二龄紫花苜蓿草地土壤有机碳、全氮、全磷质量分数均随土层深度的增加呈“升-降-升-降”的变化规律,有机碳和全氮质量分数均在 10~20 cm 土层最高,全磷在 80~90 cm 土层质量分数最高,最小值均出现在 0~10 cm 土层。10~20 cm 土层土壤有机碳、全氮质量分数显著高于其他各土层 ( $P<0.05$ )。在 80~90

cm 土层土壤全磷质量分数显著高于 0~10 cm、50~60 cm 土层 ( $P<0.05$ )。

与原生草地相比,在 0~10 cm 土层,二龄紫花苜蓿草地土壤有机碳、全氮、全磷质量分数显著低于原生草地 ( $P<0.05$ ),增幅分别为 -66.71%、-70.81%、-37.65%。在 10~100 cm 各土层土壤有机碳、全氮质量分数均显著高于原生草地,在 70~80 cm 土层变化最大,增幅分别为 318.48%、568.64% ( $P<0.05$ )。土壤全磷质量分数在 10~100 cm 各土层均高于原生草地,其中 40~100 cm 土层显著高于原生草地,90~100 cm 土层变化最大,增幅为 334.85% ( $P<0.05$ )。

表 2 二龄紫花苜蓿草地土壤全量养分质量分数

Table 2 Total soil nutrient contents of 2-year-old alfalfa pasture

土层 /cm	有机碳/(g·kg <sup>-1</sup> )			全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )			全磷/(g·kg <sup>-1</sup> )		
	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%
0~10	3.136±0.063 <sup>hB</sup>	9.419±0.068 <sup>aA</sup>	-66.71	0.253±0.065 <sup>fB</sup>	0.868±0.021 <sup>aA</sup>	-70.84	0.476±0.097 <sup>bB</sup>	0.763±0.149 <sup>aA</sup>	-37.65
10~20	8.878±0.049 <sup>aA</sup>	6.357±0.095 <sup>bB</sup>	39.66	0.953±0.063 <sup>aA</sup>	0.619±0.05 <sup>bB</sup>	54.07	0.704±0.114 <sup>abA</sup>	0.648±0.122 <sup>abA</sup>	8.57
20~30	6.836±0.098 <sup>bA</sup>	4.834±0.007 <sup>cB</sup>	41.42	0.64±0.026 <sup>bcA</sup>	0.305±0.121 <sup>cB</sup>	109.633	0.604±0.103 <sup>abA</sup>	0.601±0.074 <sup>abA</sup>	0.50
30~40	5.255±0.063 <sup>eA</sup>	3.952±0.02 <sup>dB</sup>	32.97	0.609±0.015 <sup>cdA</sup>	0.236±0.102 <sup>cdB</sup>	157.83	0.592±0.054 <sup>abA</sup>	0.531±0.09 <sup>abcA</sup>	11.64
40~50	4.102±0.028 <sup>gA</sup>	3.145±0.095 <sup>eB</sup>	30.43	0.581±0.033 <sup>cdA</sup>	0.224±0.08 <sup>cdB</sup>	159.84	0.548±0.113 <sup>abA</sup>	0.424±0.075 <sup>bcdB</sup>	29.23
50~60	4.811±0.021 <sup>fA</sup>	2.688±0.075 <sup>fB</sup>	78.98	0.606±0.01 <sup>cdA</sup>	0.162±0.041 <sup>dB</sup>	274.20	0.478±0.054 <sup>ba</sup>	0.321±0.068 <sup>cdeB</sup>	48.68
60~70	5.879±0.028 <sup>dA</sup>	1.756±0.183 <sup>gB</sup>	234.80	0.493±0.149 <sup>deA</sup>	0.155±0.019 <sup>dB</sup>	217.94	0.614±0.112 <sup>abA</sup>	0.348±0.15 <sup>cdeB</sup>	76.22
70~80	6.545±0.167 <sup>cA</sup>	1.564±0.136 <sup>ghB</sup>	318.48	0.746±0.015 <sup>bA</sup>	0.112±0.007 <sup>dB</sup>	568.69	0.671±0.096 <sup>abA</sup>	0.272±0.106 <sup>deB</sup>	146.44
80~90	5.118±0.258 <sup>eA</sup>	1.365±0.136 <sup>hiB</sup>	274.95	0.546±0.016 <sup>cdeA</sup>	0.122±0.009 <sup>dB</sup>	346.08	0.783±0.155 <sup>aA</sup>	0.243±0.121 <sup>deB</sup>	221.71
90~100	3.315±0.056 <sup>hA</sup>	1.248±0.054 <sup>iB</sup>	165.63	0.437±0.009 <sup>eA</sup>	0.118±0.005 <sup>dB</sup>	270.97	0.549±0.101 <sup>abA</sup>	0.126±0.01 <sup>eB</sup>	334.85
均值	5.387	3.633	48.300	0.586	0.292	100.81	0.60	0.428	40.50

### 2.3 二龄紫花苜蓿草地土壤碳氮磷化学计量特征

二龄紫花苜蓿草地土壤 C/N、N/P、C/P 随着土层深度的增加无明显的变化规律(表 3)。C/N 在 0~10 cm 土层出现最大值,显著高于 30~60、70~80、90~100 cm 土层( $P<0.05$ )。在 0~10、60~70 cm 土层 C/N 要高于原生草地,增幅分别为 23.02%、16.307%,但不显著( $P>0.05$ ),其他各土层均低于原生草地,其中 20~60 cm 各土层差异显著( $P<0.05$ )。N/P 在 10~20 cm 土层出现最大值,显著高于 0~10、60~70、80~100 cm 各土层( $P<0.05$ ),最小值出现在

0~10 cm 土层。在 0~10 cm 土层 N/P 显著低于原生草地,增幅为-55.325%( $P<0.05$ )。在 10~60、70~80 cm 土层 N/P 均显著高于原生草地,其中 50~60 cm 土层变化最大,增幅为 151.94%( $P<0.05$ )。C/P 最大值出现在 10~20 cm 土层,显著高于 0~10、40~50、80~100 cm 土层( $P<0.05$ )。最小值出现在 90~100 cm 土层,仅与 10~30 cm 土层差异显著( $P<0.05$ )。在 0~10 cm 土层 C/P 显著低于原生草地,增幅为-45.94%,10~20、70~80 cm 土层显著高于原生草地,增幅分别为 27.51%、46.37%( $P<0.05$ )。

表 3 二龄紫花苜蓿草地的土壤化学计量特征

Table 3 Soil stoichiometric characteristics of 2-year-old alfalfa pasture

土层/cm	C/N			N/P			C/P		
	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%	二龄紫花苜蓿草地	原生草地	增幅/%
0~10	13.354±3.87 <sup>aA</sup>	10.856±0.179 <sup>aA</sup>	23.02	0.527±0.033 <sup>dB</sup>	1.18±0.216 <sup>aA</sup>	-55.33	6.936±1.691 <sup>cB</sup>	12.83±2.483 <sup>aA</sup>	-45.94
10~20	9.349±0.567 <sup>abA</sup>	10.329±0.689 <sup>aA</sup>	-9.49	1.382±0.174 <sup>aA</sup>	0.981±0.145 <sup>abB</sup>	40.86	12.984±2.281 <sup>aA</sup>	10.182±1.989 <sup>abB</sup>	27.51
20~30	10.696±0.287 <sup>abB</sup>	19.121±8.584 <sup>aA</sup>	-44.06	1.094±0.171 <sup>abcA</sup>	0.489±0.149 <sup>bbB</sup>	123.84	11.74±2.12 <sup>abA</sup>	8.139±1.094 <sup>aA</sup>	44.24
30~40	8.637±0.314 <sup>bbB</sup>	21.124±10.627 <sup>aA</sup>	-59.12	1.034±0.068 <sup>abcA</sup>	0.424±0.124 <sup>bbB</sup>	143.78	8.955±0.912 <sup>abcA</sup>	7.692±1.437 <sup>aA</sup>	16.42
40~50	7.085±0.453 <sup>bbB</sup>	16.508±7.012 <sup>aA</sup>	-57.08	1.1±0.199 <sup>abcA</sup>	0.528±0.19 <sup>bbB</sup>	108.18	7.875±1.92 <sup>bcA</sup>	7.654±1.428 <sup>aA</sup>	2.88
50~60	7.938±0.1b <sup>B</sup>	17.665±4.268 <sup>aA</sup>	-55.07	1.29±0.18 <sup>aA</sup>	0.512±0.122 <sup>bbB</sup>	151.94	10.22±1.296 <sup>abcA</sup>	8.723±1.684 <sup>aA</sup>	17.17
60~70	13.205±4.326 <sup>aA</sup>	11.354±0.219 <sup>aA</sup>	16.31	0.794±0.166 <sup>bcdA</sup>	0.641±0.457 <sup>abA</sup>	23.92	9.95±2.062 <sup>abcA</sup>	7.192±5.013 <sup>aA</sup>	38.35
70~80	8.771±0.05 <sup>ba</sup>	14.137±2.05 <sup>aA</sup>	-37.96	1.14±0.202 <sup>abA</sup>	0.522±0.293 <sup>bbB</sup>	118.42	10.011±1.829 <sup>abcA</sup>	6.84±2.886 <sup>abB</sup>	46.37
80~90	9.396±0.749 <sup>abA</sup>	11.128±0.28 <sup>aA</sup>	-15.56	0.726±0.145 <sup>cdA</sup>	0.749±0.499 <sup>abA</sup>	-3.04	6.919±1.924 <sup>ca</sup>	8.217±5.28 <sup>aA</sup>	-15.79
90~100	7.591±0.031 <sup>ba</sup>	10.716±0.751 <sup>aA</sup>	-29.16	0.83±0.191 <sup>bcdA</sup>	0.526±0.188 <sup>ba</sup>	57.87	6.295±1.421 <sup>ca</sup>	5.705±2.322 <sup>aA</sup>	10.34
均值	9.602	14.294	-32.823	0.992	0.66	51.37	9.189	8.317	10.47

### 2.4 相关性分析

有效磷质量分数与全氮、全磷质量分数正相关性不显著,与碱解氮质量分数呈显著正相关( $P<0.05$ ) (表 4)。除此之外,有机碳、全氮、全磷、碱解氮、有效

磷、速效钾质量分数共计 6 个指标间,均呈极显著正相关( $P<0.01$ )。C/N 与 C/P 相关性不显著( $P>0.05$ ),与 N/P 呈极显著负相关( $P<0.01$ )。N/P 与 C/P 呈极显著正相关( $P<0.01$ )。C/N 与全磷质量分

表 4 土壤养分及土壤化学计量比的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of soil nutrients and soil stoichiometric ratio

	有机碳 质量分数	全氮 质量分数	全磷 质量分数	碱解氮 质量分数	有效磷 质量分数	速效钾 质量分数	C/N	C/P	N/P
有机碳质量分数	1								
全氮质量分数	0.907**	1							
全磷质量分数	0.742**	0.745**	1						
碱解氮质量分数	0.934**	0.854**	0.742**	1					
有效磷质量分数	0.368**	0.177	0.173	0.311*	1				
速效钾质量分数	0.861**	0.742**	0.588**	0.805**	0.449**	1			
C/N	-0.175	-0.515**	-0.270*	-0.198	0.176	-0.156	1		
C/P	0.563**	0.441**	-0.037	0.502**	0.296*	0.489**	0.052	1	
N/P	0.585**	0.729**	0.168	0.546**	0.055	0.460**	-0.539**	0.770**	1

注:“\*”表示显著相关( $P<0.05$ );“\*\*”表示极显著相关( $P<0.01$ )

数呈显著负相关( $P < 0.05$ ),与全氮质量分数呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。C/P与有效磷质量分数呈显著负相关( $P < 0.05$ ),与有机碳、全氮、碱解氮、速效钾质量分数呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。N/P与有机碳、全氮、碱解氮、速效钾质量分数呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。

### 3 讨论

土壤养分质量分数是判定土壤质量水平的重要因素。本研究结果表明紫花苜蓿草地0~100 cm土壤碱解氮、速效钾、有机碳、全氮、全磷质量分数较原生草地分别增加62.55%、19.68%、48.3%、100.81%、40.50%,这与前人研究一致,即种植紫花苜蓿可培肥地力提高土壤养分质量分数<sup>[12-15]</sup>。人工紫花苜蓿草地生态系统是农田生态系统。草地的开垦建设会导致土壤养分质量分数降低<sup>[16-17]</sup>。杨泽鹏<sup>[18]</sup>的研究表明开垦使表层(0~20 cm)土壤理化性质和土壤碳氮养分质量分数的降低最明显。本研究中也得到相似的结果,即二龄紫花苜蓿草地土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机碳、全氮、全磷质量分数在0~10 cm土层均显著低于原生草地,降幅分别为53.91%、16.12%、50.09%、66.76%、70.81%、37.65%。这主要是原生草地土壤受自然和人为的扰动较少,植物残体主要积累在土壤表层<sup>[19]</sup>,可供微生物维系生命活动的能量充足,从而导致土壤表层养分质量分数较高。紫花苜蓿草地一方面因清地、翻耕、暴晒等生产活动使有机物归还减少,土壤结构发生剧烈变化,有机物质矿化分解加快<sup>[20]</sup>,另一方面因紫花苜蓿的生长需要消耗大量的土壤养分,使得养分质量分数下降。本研究发现在10~100 cm各土层中,紫花苜蓿草地土壤养分质量分数(除有效磷)均高于原生草地。可能是由以下原因造成:人为的耕翻措施将表层动植物残体等有机物质翻入底层增加了地上生物量中碳氮养分向土壤的输入<sup>[21-22]</sup>,土壤表层结构破坏后,有机物质和腐殖质以溶解或颗粒碳、氮的形式向下淋溶积淀<sup>[23]</sup>。沙地土壤具有较强的淋溶作用,大量使用化学肥料增加了下层土壤的养分积累。根系是下层土壤有机碳周转的重要驱动力,是将光合产物直接输入到地下的唯一途径<sup>[24]</sup>。紫花苜蓿根系在土壤中纵横穿插,加速了土壤上层养分向下层的运输,同时使土壤中根系脱落的根冠细胞和死亡根系的质量分数增加,根系分泌大量有

机酸,活化土壤,有利于土壤微生物的活动及营养物质的溶解,促进了养分的积累<sup>[25]</sup>。

土壤化学计量比是衡量土壤质量的重要参数<sup>[26]</sup>。C/N是土壤质量的敏感指标,并且会影响到土壤中碳氮循环<sup>[27]</sup>,微生物生命活动所需的最佳C/N为25<sup>[27]</sup>。此比值对有机碳转化最有利,当C/N小于25时,有机碳转化较容易,能产生充足的氮素,反之,则会使有机碳转化困难,出现微生物与植物争夺氮素的现象,使土壤有机碳积累更加容易<sup>[28]</sup>。本研究中二龄紫花苜蓿草地土壤C/N为7.085~13.354,均值为9.602。小于中国陆地土壤(12.30)、全球陆地土壤(12.30)、全球草地土壤(11.80)及全球森林土壤(12.40)<sup>[29-30]</sup>。表明二龄紫花苜蓿草地较低的土壤C/N使土壤有机质分解速率和矿化速率较高,在其矿化作用之始就能供给植物所需的有效氮量<sup>[31]</sup>,同时也表明该地区土壤C比N更缺乏。土壤C/P被认为是指示土壤磷元素矿化能力的重要指标,也是衡量微生物矿化土壤有机物质、释放P或从环境中吸收固持P的潜力的一种指标<sup>[32]</sup>。较低C/P有利于微生物在有机质分解过程中的养分释放,促进土壤中有效P的增加<sup>[33-34]</sup>。本研究发现,二龄紫花苜蓿草地土壤C/P为6.295~12.984,均值为9.189,远远低于中国陆地土壤(52.70)、全球陆地土壤(72.00)、全球草地土壤(64.30)及全球森林土壤(81.90)<sup>[29-30]</sup>,表明在紫花苜蓿草地微生物分解有机质的过程受P的限制可能性较小,土壤P表现出较高的有效性。较低的土壤C/P也说明,C比P更为缺乏。N/P可用作N是否饱和的诊断指标,并被用于确定养分限制的阈值<sup>[35]</sup>。将N/P<10和N/P>20作为评价植被生产力受氮、磷元素限制的指标<sup>[36]</sup>。本研究中二龄紫花苜蓿草地各土层土壤N/P为0.527~1.29,均值为0.992,低于中国陆地土壤(3.9)、全球陆地土壤(5.9)、全球草地土壤(5.6)及全球森林土壤(6.6)<sup>[29-30]</sup>。较低的N/P说明土壤N缺乏,植物生产力受到影响。综合分析土壤C、N、P元素的缺乏程度其大小顺序为C>N>P。土壤中某种营养元素含量与化学计量比的相关性越高,则化学计量比受该元素的影响越大<sup>[37]</sup>。本研究中土壤C/N、N/P与土壤全氮质量分数的相关性最强(-0.515\*\*、0.729\*\*)。C/P与有机碳的相关性最强(0.563\*\*)。由此可知本研究区域土壤C/N、N/P主要受控于土壤全氮质量分数,C/P受控于土壤有机碳质量分数,印证了C、N质量分

数的主导作用。

## 4 结论

(1)二龄紫花苜蓿草地可明显增加 0~100 cm 土壤碱解氮、速效钾、有机碳、全氮、全磷质量分数。

(2)二龄紫花苜蓿草地降低了 0~10 cm 土壤养分质量分数,增加了 10~100 cm 各土层土壤养分质量分数(除有效磷)。

(3)二龄紫花苜蓿草地土壤 C/N、C/P、N/P 较低,均值分别为 9.602、0.992、9.189,C、N、P 元素的缺乏程度为 C>N>P。

(4)土壤全氮质量分数对 C/N、N/P 的影响最大,有机碳质量分数对 C/P 的影响最大。

### 参考文献:

[1] 姜凤岐,曹成有,曾德慧.科尔沁沙地生态系统退化与恢复[M].北京:中国林业出版社,2002.

[2] 蒋德明,刘志民,曹成有.科尔沁沙地荒漠化过程与生态恢复[M].北京:中国环境科学出版社,2003.

[3] 董世魁,蒲小鹏,胡自治.青藏高原高寒人工草地生产—生态范式[M].北京:科学出版社,2013:2-76.

[4] 杨玉海,蒋平安.不同种植年限苜蓿地土壤理化特性研究[J].水土保持学报,2005,19(2):110-113.

[5] 杨晓晖,王葆芳,江泽平.乌兰布和沙漠东北缘三种豆科绿肥植物生物量和养分含量及其对土壤肥力的影响[J].生态学杂志,2005,24(10):1134-1138.

[6] 苏永中,刘文杰,杨荣,等.河西走廊中段绿洲退化土地退耕种植苜蓿的固碳效应[J].生态学报,2009,29(12):6385-6391.

[7] 杨洋,王百群,李玉进.苜蓿对旱地土壤有机碳氮变化的驱动作用[J].水土保持研究,2012,19(3):78-81.

[8] 张宝泉,李红红,马虎,等.渭北旱塬区不同年限苜蓿对土壤主要养分及微生物量的影响[J].草地学报,2015,23(6):1190-1196.

[9] 蔺芳,刘晓静,张家洋.紫花苜蓿与多年生黑麦草不同种植模式下沙化土壤碳、氮含量和酶活性研究[J].草原与草坪,2019,39(3):43-49.

[10] 郝明德,张春霞.不同种植方式下苜蓿地上部 N、P、K 含量的动态变化[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):90-94.

[11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.

[12] 杨恒山,曹敏建,范富,等.苜蓿生长年限对土壤理化性状的影响[J].中国草地学报,2006,28(6):29-32.

[13] 胡发成.种植苜蓿改良培肥地力的研究初报[J].草业科学,2005,22(8):47-49.

[14] 任继周.主要牧草栽培及种子生产[M].成都:四川科学技术出版社,1986:1-3.

[15] 徐丽君,王波,辛晓平.苜蓿人工草地土壤养分及土壤微生物特性[J].草地学报,2011,19(3):406-411.

[16] 曹静娟,尚占环,郭瑞英,等.开垦和弃耕对黑河上游亚高山草甸土壤氮库的影响[J].干旱区资源与环境,2011,25(4):171-175.

[17] 张涛,刘阳,袁航,等.开垦种草对高寒草甸土壤理化性质的影响[J].草业科学,2012,9(11):1655-1659.

[18] 杨泽鹏,胡玉福,何剑锋,等.垦殖对川西北高寒草地土壤理化性质的影响[J].水土保持学报,2017,31(2):227-232.

[19] 王轶浩,耿养会,黄仲华.三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征[J].生态学报,2013,33(18):5493-5499.

[20] Foley J A, DeFries R, Asner G P, *et al.* Global consequences of land use[J]. Science, 2005, 309(5734): 570-574.

[21] 陶贞,张胜华,解晨曦,等.草原土壤有机碳含量的控制因素[J].生态学报,2013,33(9):2684-2694.

[22] 李月梅,王跃思,曹广民,等.开垦对高寒草甸土壤有机碳影响的初步研究[J].地理科学进展,2005,24(6):59-65.

[23] 杨丰,唐文汉,王建立,等.贵州喀斯特山区草地生态系统类型转变对土壤有机碳的影响[J].草地学报,2015,23(4):733-737.

[24] 崔静,陈云明,黄佳健,等.黄土丘陵半干旱区人工柠条林土壤固碳特征及其影响因素[J].中国生态农业学报,2012,20(9):1197-1203.

[25] 李银科,马全林,王耀琳,等.景电灌区次生盐渍化土地枸杞林的土壤特征研究[J].草业学报,2015,24(5):66-74.

[26] Fan H, Wu J, Liu W, *et al.* Linkages of plant and soil C: N: P stoichiometry and their relationships to forest growth in subtropical plantations[J]. Plant and Soil, 2015, 392(1-2): 127-138.

[27] Tessier J T, Raynal D J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation[J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 40(3): 12.

[28] 薛立,邝立刚,陈红跃,等.不同林分土壤养分微生物与酶活性的研究[J].土壤学报,2003(2):280-285.

- [29] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, *et al.* Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: A synthesis of observational data[J]. *Biogeochemistry*, 2010, 985(1-3): 139-151.
- [30] 青焯, 孙飞达, 李勇, 等. 若尔盖高寒退化湿地土壤碳氮磷比及相关性分析[J]. *草业学报*, 2015, 24(3): 38-47.
- [31] 李玉强, 赵哈林, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤碳氮特征分析[J]. *水土保持学报*, 2005(5): 75-78, 184.
- [32] 曾全超, 李鑫, 董扬红, 等. 陕北黄土高原土壤性质及其生态化学计量的纬度变化特征[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 870-879.
- [33] 王建林, 钟志明, 王忠红, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤碳磷比的分布特征[J]. *草业学报*, 2014, 23(2): 9-19.
- [34] 张萍, 章广琦, 赵一娉, 等. 黄土丘陵区不同森林类型叶凋落物-土壤生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2018, 38(14): 5087-5098.
- [35] 朱秋莲, 邢肖毅, 张宏, 等. 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(15): 4674-4682.
- [36] 李海云, 张建贵, 姚拓, 等. 退化高寒草地土壤养分、酶活性及生态化学计量特征[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(5): 287-295.
- [37] 陶冶, 张元明, 周晓兵. 伊犁野果林浅层土壤养分生态化学计量特征及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(7): 2239-2248.

## Study on soil nutrients and stoichiometry of 2nd year alfalfa pasture in Horqin sandy land

ZHAO Li-xing<sup>1</sup>, WANG Lin<sup>1,3</sup>, LI Tian-qi<sup>1</sup>, GAO Kai<sup>1,2</sup>

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028042, China; 2. Inner Mongolia Engineering Research Center for Forage Crop, Tongliao 028042, China; 3. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The soil nutrient content and stoichiometry characteristics of 2nd year alfalfa (*Medicago sativa*) pasture in Horqin sandy land were studied by using the natural grassland as the control. Soil samples in 0~100 cm soil layer were collected to measure the soil AN, AP, AK, SOC, TN and TP contents and calculate the C, N and P stoichiometry. The result showed that the ranges of soil AN, AP, AK, SOC, TN, and TP contents were 38.58~78.1 mg/kg, 23.01~46.08 mg/kg, 60.66~119.74 mg/kg, 3.136~8.878 g/kg, 0.253~0.953 g/kg and 0.476~0.783 g/kg respectively. And their average values increased by 62.55%, -6.57%, 19.68%, 48.3%, 100.805% and 40.503% compared to the natural grassland respectively. The contents of soil AN, AP, AK, SOC, TN and TP in 0~10 cm layer reduced by 53.91%, 16.12%, 50.09%, 66.76%, 70.806% and 37.653%; In 10~100 cm layer, the soil nutrient contents (except AP) increased; The soil C/N, C/P and N/P were lower, with average values of 9.602, 0.992, and 9.189, respectively, and the deficiency ranking of C, N and P was C>N>P; Soil C/N and N/P were mainly controlled by soil total nitrogen content and C/P was mainly controlled by soil organic carbon content.

**Key words:** Horqin sandy land; 2nd year alfalfa pasture; soil nutrients; stoichiometric characteristics