

于 兵,吴克宁. 施氮对高寒草原植物生长和土壤无机氮含量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):214-218.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.056

施氮对高寒草原植物生长和土壤无机氮含量的影响

于 兵^{1,2}, 吴克宁^{1,2}

[1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083; 2. 国土资源部土地整治重点实验室,北京 100083]

摘要:为了进一步确定高寒草原生态系统植物对氮素的需求,通过野外控制试验,设计不同施氮水平(0、1、2、4、8、16、24、32 g/m²),研究高寒草原不同植物功能群(禾本科、莎草科、杂草)的地上生物量及土壤无机氮(硝态氮和铵态氮)含量对不同施氮水平的响应。结果表明,随着施氮量的增加,不同功能群植物地上生物量呈线性增加的变化趋势,土壤无机氮含量随着施氮量增加而不同程度增加,其中,N16、N24、N32 处理显著提高了土壤硝态氮的含量($P < 0.05$)。综合说明高寒草原施氮量为 8 g/m² 最适宜,既可以明显促进植物生长,又可以有效控制土壤硝态氮的含量。

关键词:施氮;高寒草原;植物生长;硝态氮;铵态氮;合理利用

中图分类号: S158.3;S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0214-04

氮是植物生长的必需元素,植物的一生需要吸收大量的土壤氮素。施肥是改良草地的有效措施之一,可有效提高草地生产力。章学梅等通过对冷季型混播草坪的施肥研究发现,年施氮量为 25 g/m² 较合适^[1]。韩建国等通过研究施肥对早熟禾(*Poa pretensis*)草地土壤中硝态氮含量的影响,发现 0~20 cm 土层中硝态氮的含量受施肥影响最大,并且与肥料类型、施肥次数以及肥料量有关^[2]。

草原对大自然保护有很大作用,它不仅是重要的地理屏障,而且也是阻止沙漠蔓延的天然防线,起着生态屏障作用。另外,它也是人类发展畜牧业的天然基地。草原退化、碱化和沙化、气候恶化以及严重的鼠害等一系列生态问题,在全国绝大多数草原均不同程度地存在着,这是人类对草原不合理利用所造成的生态恶果。草原退化的标志之一是产草量的下降。据调查,全国各类草原的牧草产量普遍比 20 世纪 50~60 年代下降 30%~50%。如新疆乌鲁木齐县,1965 年草场平均产草量为 1 275 kg/hm²,到 1982 年已降至 795 kg/hm²,平均每年减少 22.5 kg/hm²。草原退化的标志之二是牧草质量上的变化,可食性牧草减少,毒草和杂草增加,使牧场的使用价值下降。例如,在青海果洛地区,草原退化前杂、毒草仅占全部草量的 19%~31%,退化后增加到 30%~50%,优质牧草则由 33%~51% 下降到 4%~19%。草原退化,植被疏落,导致气候恶化,许多地方的大风天气和沙暴次数逐渐增加。气候的恶化又促进了草原的退化和沙化过程。我国是世界上沙漠化受害最重的国家之一。我国北方地区沙漠化面积已近 18 万 km²,从 20 世纪 50 年代末到 20 世纪 70 年代末的 20 年间,因沙漠化已丧失了 3.9 万 km² 的土地资源。草原鼠害也日益严重,据 1982 年全国草原灭鼠会议反映,全国草原

牧区受鼠害面积已达 6 600 万 hm²,有的草场鼠洞密度多达 24 600 个/hm² 以上,使草场完全被破坏而失去使用价值。据估计,全国每年因鼠害损失的牧草约有 500 万 t,直接经济损失有十几亿元。鼠害的发生既是草原生态系统平衡失调的恶果,也是造成草原生态环境进一步恶化的原因之一。

建立围栏,实行分区轮放,合理利用草场等,都是已被证明的保护和恢复草原生态系统结构和功能的有效措施。根据中国农业科学院草原研究所的预测,若不能尽早改进目前牧业的生产经营方针,在今后的 15 年内,内蒙古全区草原产草量年平均下降率可达 2.3%。另外,从长远考虑,通过技术改造和适当增加投资,实行集中化经营的草业,其经济效益更大。在畜牧业要发展、草原生态环境要保护的情况下,必须要以人工草地和种植饲料来获得高的经济效益和环境效益。目前我国人工草场的面积仅占草原总面积的 0.4%,只是美俄等国的 4%。而据专家们的估计,种植牧草 0.5%~1%,可增加全部生产能力的 0.5~1.0 倍。可见发展人工种植牧草业是一项短期内即可获得巨大经济效益的措施,同时又利于草原生态系统的恢复。因此,必须加强对草原的合理利用和保护。

本研究通过对高寒草原生态系统进行不同施氮水平处理,研究不同功能群地上生物量和土壤无机氮含量对施氮的响应,以期对草地改良提供理论指导,进而为草场合理的规划利用提供建议。

1 材料与方法

1.1 试验时间与试验地概况

试验于 2013 年在青海刚察县进行,刚察县位于青海省东北部,海北藏族自治州西南部,青海湖北岸,介于 99°20′44″~100°37′24″E、36°58′06″~38°04′04″N 之间。刚察县属典型的高原大陆性气候,日照时间长,昼夜温差大;年降水量 370.5 mm,年蒸发量 1 500.6~1 847.8 mm。冬季寒冷,夏秋温凉,1 月平均气温 -17.5℃,7 月平均气温 11℃,年平均气温 -0.6℃。该地区植被以紫花针茅为主^[3-4]。

1.2 试验处理

试验设置 8 个氮梯度处理,施氮水平分别为 0、1、2、4、8、

收稿日期:2017-10-27

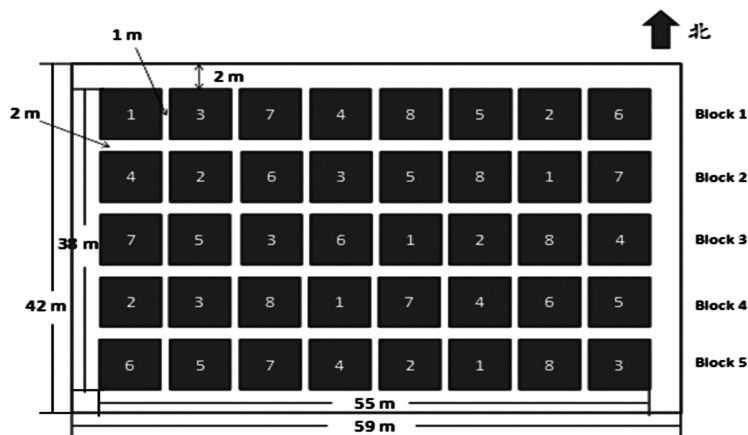
基金项目:国家自然科学基金(编号:41371226)。

作者简介:于 兵(1994—),女,河北沧州人,硕士研究生,主要从事土地资源评价与利用规划研究。E-mail:2316177701@qq.com。

通信作者:吴克宁,博士,博士生导师,主要从事土地资源评价与利用规划研究。E-mail:wukening@cugb.edu.cn。

16、24、32 g/m², 分别用 N0(对照)、N1、N2、N4、N8、N16、N24、N32 表示。采用田间随机区组设计, 每个处理 5 个重复, 图 1

为该试验小区分布。氮肥形态为 NH₄NO₃, 分别于 6 月、7 月、8 月和 9 月每月月初人工喷施。



1、2、3、4、5、6、7、8 分别表示 N0、N1、N2、N4、N8、N16、N24、N32 处理

图1 试验小区氮水平总体规划

1.3 样品采集

1.3.1 植物和土壤样品采集 在 8 月 20 号左右, 在每个小区收获 3 个 25 cm × 25 cm 样方的植物, 地上生物量的获取采用直接收割法, 采集植物地上部, 烘干后称质量。在 8 月份的取样中, 采用根钻 (d = 8 cm) 采集 0 ~ 100 cm 深度的土样样品, 每 10 cm 一层。将鲜土样品过 3 cm 孔筛后, 冷冻保存。

1.3.2 植物和土壤样品指标测定 土壤无机氮含量采用 0.01 mol/L CaCl₂ 浸提, 流动分析仪测定; 土壤含水量采用烘干称质量法测定。

1.3.3 物种组成调查 在每个试验单元的观测区内, 设置 1 个 1 m × 1 m 的非破坏性固定观测样方, 其中设置 100 个 10 cm × 10 cm 的小方格, 进行物种组成及盖度观测。

1.4 数据处理

数据采用 SPSS 11.0 软件进行统计与分析, 图表采用 Excel 2007 进行绘制。

2 结果与分析

2.1 施氮对不同功能群地上生物量的影响

从表 1 可以看出, 不同植物功能群地上生物量对施氮的响应不同。随着施氮量的提高, 禾本科植物生物量显著增加 ($P < 0.05$)。其中, 以 N32 (施氮水平 32 g/m²) 处理生物量最大, 达 110.3 g/m², 比对照增加了 51.1 g/m², 在其他施氮处理下, 禾本科生物量均有不同程度的增加。莎草科和杂草地上生物量对不同氮水平的响应没有明显规律。与 N0 (对照) 相比, N4 和 N8 处理可明显增加莎草科生物量; N2、N24、N32 处理对莎草科生物量无显著影响; N1、N16 处理则明显降低了莎草科生物量。随着施氮量的增加, 杂草生物量总体上呈现增加趋势, N16 处理增加效果最为显著 ($P < 0.05$), 达 9.5 g/m², 与对照相比增加了 4.9 g/m²。不同施氮处理均明显促进植物地上部生长, 其中, 以 N32 处理对植物总生物量的增加效果最为显著 ($P < 0.05$), 达 121.3 g/m², 比对照增加了 53.9 g/m²。综合看, N1 处理莎草科和杂草生物量较低, 禾本科生物量较大, 且禾本科生物量占总生物量的 93.5%, 这说明总生物量的增加是因为禾本科生物量的增加; N2 处理莎

草科生物量增加, 杂草生物量有所降低, 禾本科生物量降低, 总生物量降低, 说明总生物量的降低是因为禾本科生物量的降低。

表 1 8 月不同氮素梯度下的不同植物功能群生物量

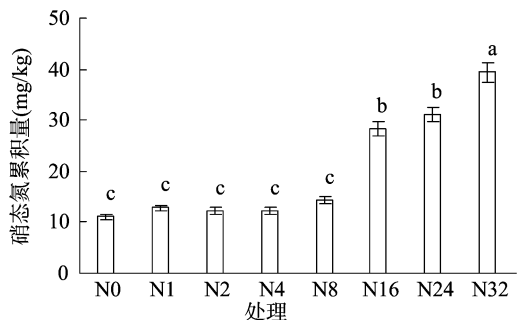
氮素梯度	生物量 (g/m ²)			总生物量 (g/m ²)
	禾本科	莎草科	杂草	
N0	59.2 ± 8.8d	3.6 ± 0.9abc	4.6 ± 1.4b	67.4 ± 7.6e
N1	77.9 ± 4.8c	1.3 ± 0.4c	4.2 ± 1.5b	83.3 ± 5.9d
N2	72.4 ± 5.5de	3.6 ± 1.2abc	3.8 ± 1.6b	79.7 ± 3.8de
N4	75.6 ± 4.8c	4.4 ± 1.4ab	6.3 ± 2.2ab	86.2 ± 4.1b
N8	96.7 ± 6.7ab	5.5 ± 1.0a	6.9 ± 2.1ab	109.1 ± 5.5ab
N16	86.8 ± 2.4bc	2.3 ± 0.8bc	9.5 ± 3.0a	98.5 ± 4.2bc
N24	103.0 ± 6.9a	3.1 ± 1.3abc	5.4 ± 3.3ab	111.5 ± 4.7ab
N32	110.3 ± 6.2a	3.7 ± 0.9ab	7.2 ± 1.7ab	121.3 ± 4.9a

注: 表中数据为平均值 ± 标准误, 每列中数字后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 施氮对土壤无机氮含量的影响

2.2.1 施氮对土壤硝态氮含量的影响 从图 2 可以看出, 与 N0 (对照) 相比, 各施氮处理在不同程度上增加了土壤硝态氮的含量。不同施氮处理土壤中硝态氮含量由大到小表现为 N32 > N24 > N16 > N8 > N1 > N2 > N4 > N0, 其中, N1、N2、N4、N8 处理土壤硝态氮含量的增加不显著 ($P < 0.05$); N16、N24、N32 处理显著提高了土壤硝态氮的含量 ($P < 0.05$)。总体而言, 土壤中硝态氮含量随着施氮量的增加呈增加趋势。

2.2.2 施氮对土壤铵态氮含量的影响 不同氮素梯度下土壤铵态氮含量变化的柱状图 (图 3) 显示, 各施氮处理土壤中铵态氮含量由大到小表现为 N24 > N16 > N1 > N32 > N2 > N4 > N8 > N0, 说明各施氮处理均不同程度增加了土壤铵态氮含量, 但是土壤铵态氮含量无明显随施氮量变化的规律。与 N0 (对照) 相比, N4、N8 处理对土壤中铵态氮含量影响不显著 ($P < 0.05$); N1、N2、N16、N24、N32 处理对土壤中铵态氮含量增加效果较为显著 ($P < 0.05$), 其中 N24 处理对土壤中铵态氮的含量增加效果最为显著 ($P < 0.05$)。综上所述, 施氮可以增加土壤铵态氮含量, 但随施氮量的增加, 土壤铵态氮含量



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。图 3 同
图2 不同施氮处理对土壤中硝态氮含量影响

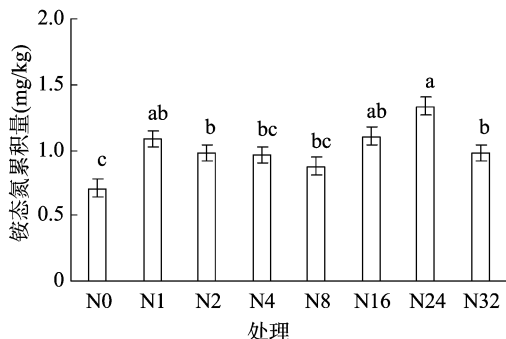


图3 不同施氮处理对土壤中铵态氮含量影响

无明显的变化规律。

2.3 不同土壤深度无机氮含量分布

如图 4 所示,同一施氮水平下,硝态氮在表层土壤(0~20 cm)中含量最高,随土层深度增加而减少。硝态氮在表层土壤(0~10 cm)中含量随着施氮量的增加而增加。在 N0、N1、N2、N4、N8 施氮水平下,土壤硝态氮含量随土壤深度的加深而不断降低,与 N0(对照)相比,N1、N2、N4、N8 对不同土层硝态氮含量影响不明显。N16、N24、N32 处理对土壤硝态氮含量影响明显,且在土壤深度 0~30 cm 的含量较高,在土壤深度 30~50 cm 土壤硝态氮含量随土壤深度的加深而不断降低。这与 8 月份降水较多,土壤硝态氮明显向下层土壤转移有关。如图 5 所示,土壤铵态氮含量在土壤表层较低,随土壤深度的加深土壤铵态氮含量不断增加,但不同氮处理并没有明显影响各土层中铵态氮含量。

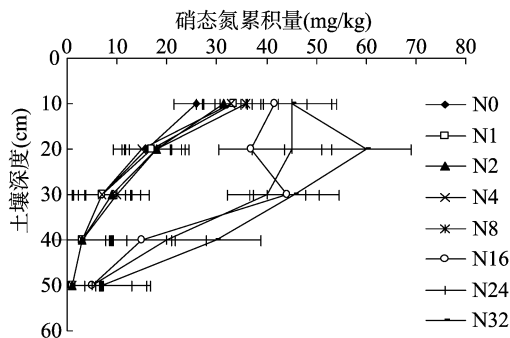


图4 不同土壤深度对土壤硝态氮含量影响

2.4 不同施氮处理土壤含水量随土壤深度的变化

由图 6 可以看出,土壤含水量随着土壤深度的增加而下降。不同施氮处理条件下,土壤含水量随土壤深度变化规律一致,在土壤深度 0~20 cm 范围内土壤含水量较高,土壤含

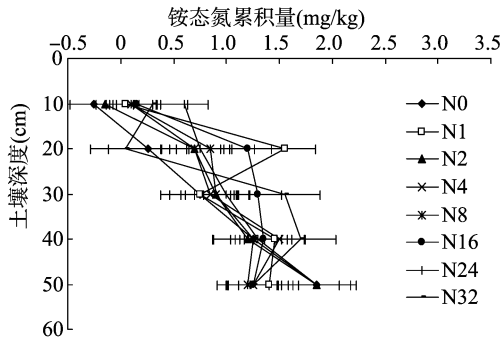


图5 不同施氮梯度土壤铵态氮含量随土壤深度变化

水量随土壤深度的加深而增加;在土壤深度 20~50 cm,土壤含水量随土壤深度的加深而减少,且在土壤深度 50 cm 时,各施肥处理的土壤含水量均最低。

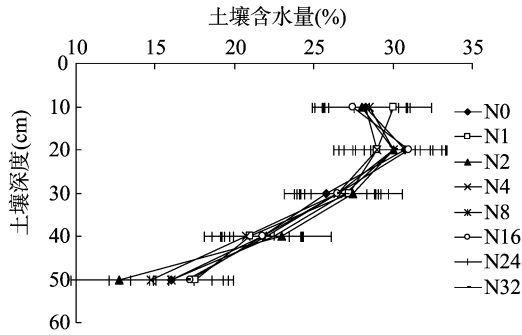


图6 不同施氮梯度土壤含水量随土壤深度变化

2.5 土壤铵态氮、硝态氮含量与地上总生物量的关系

如图 7 所示,地上总生物量与土壤中硝态氮含量呈正相关,其中 $r^2=0.6609$, $P=0.0141 < 0.05$,达到显著水平。地上总生物量与土壤中铵态氮含量没有明显相关性(图 8)。

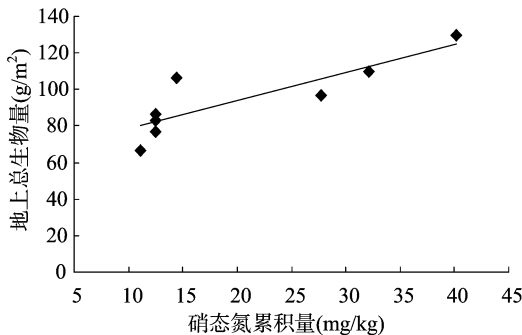


图7 土壤中硝态氮含量与地上总生物量的关系

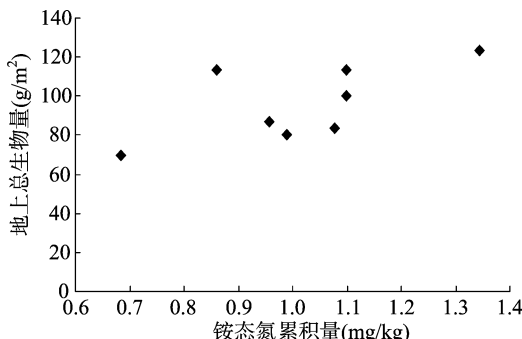


图8 土壤中铵态氮含量与地上总生物量的关系

3 讨论

3.1 施氮对地上生物量的影响

本研究中,从草地禾本科、莎草科及杂草等生物量来看,NO(对照)处理显著低于其他 7 个施氮处理($P < 0.05$),说明适量施氮能明显促进草地草的生长,这与韩建国等通过盆栽试验得出的结论^[5]一致,可以说明施氮能够明显增加草坪草的生长量。但是并不是施氮量越大,草坪长得越好,当施氮量高于 8 g/m^2 时,植物地上生长并不随着施氮量的增加而增加。氮肥作为草地植物需求的大量元素,合理的氮素释放效率可以供给草地正常生长所需的养分,氮素释放不足或超过范围都会导致茎叶的净光合速率、呼吸速率及其他生理反应相应地降低,从而影响地上生物量^[6-7]。高寒草原不同植物类群的地上生物量对增施氮肥的反应不同,其中禾本科的反应最大,杂草次之,莎草科变化最小。有研究表明,高寒冻原的相对干燥的草甸禾本科植物的丰富度在施氮后明显增加,莎草科没有明显变化^[8]。禾本科在土壤氮肥增加的状态下生长茂盛,但在对照区生长稳定,即可认为禾本科在养分充足下对养分的利用效率高,但在养分受限制甚至缺乏的条件下,对养分的竞争和适应方面属于“弱者”。当养分停止增加或其他因素导致土壤养分不足时,禾本科生长则受到抑制。本研究中,杂草对增施氮肥的反应不敏感,当施氮量为 1 g/m^2 时,杂草地上生物量明显低于对照,说明施氮在促进禾本科生长的同时,在一定程度上相对抑制杂草的生长,这与沈振西等的研究结果^[9]一致。以苔草为主的莎草科植物对施氮的不敏感性,使其得以在养分条件较好的环境中始终保持一定的稳定性,一旦人为施肥停止或由于放牧等原因使养分资源受到限制时,莎草科的这种低养分的需求特性优势就会表现出来,这也就是为什么在中度放牧条件下莎草科会成为群落优势种的原因之一。

本研究是在野外条件下进行的控制试验,对自然大气降水无法控制,特别是近年来降水量及其季节性分配波动较大,降水量的变化肯定会对施氮效果产生影响,这是沈振西等证实过的结论^[9]。但是本研究是针对 2013 年 8 月份数据,8 月降水较多,土壤含水量较高,含水量随着土壤深度的增加而下降。草原植物的优势种禾本科植物在 6—7 月处于旺盛生长阶段,特别是施氮后(7 月份)对水分的需求量较大,而此时降水量的多少以及分布是否均匀就很关键,直接影响施氮的效果,如土壤水分不足则易产生水分胁迫,加剧干旱的程度,从而影响植物对氮的吸收。但是本研究中 8 月降水较多,土壤含水量较高,因此对施氮的影响效果不明显。适当地增加施肥量有助于提高表层土壤的含水量,同时可以明显提高植株对深层土壤水分的吸收,水分也是该地区植物生长发育的主要限制因子。

3.2 施氮对土壤无机氮含量的影响

土壤中无机氮含量包括硝态氮和铵态氮含量。本研究中,不同的施氮处理与对照相比,增加了土壤无机氮含量,无机氮含量的增加是因为土壤中硝态氮含量的显著增加($P < 0.05$)。低氮处理对土壤中硝态氮和铵态氮的含量增加效果不显著($P < 0.05$),高氮处理显著增加土壤中硝态氮和铵态氮的含量,说明合适的施氮量会增加植物的吸收,但是过高施

氮,则会增加土壤中硝态氮的残留。结果表明,在 32 g/m^2 施氮水平下,土壤中硝态氮的含量达到最大值。随着施氮量增加,氮的淋溶损失也随之加大^[10]。本试验结果与以上结论一致,说明氮肥施用量和土壤中硝态氮含量密切相关,施氮量越高,草地土壤中硝态氮含量越高。

已有研究指出,同一施氮量水平下硝态氮在表层土壤(0~20 cm)中含量最高,随土层深度的增加而减少^[11]。本研究与其一致,这主要是因为氮肥随着水分的下渗进入不同的土层,在根系层达到最大含量。另外,也可能是因为根系层的微生物活动及相关酶活性比较强,利于氮素的积累。同一施氮量不同深度比较,0~20 cm 土层中硝态氮含量大于 20~30 cm、30~40 cm 和 40~50 cm 土层的硝态氮含量。

土壤铵态氮含量在土壤表层 0~10 cm 较低,随土壤深度的加深,土壤铵态氮含量不断增加,但铵态氮含量随施氮量的变化无明显变化规律。这表明铵态氮在下层土壤中分布较高,但与施氮无关,可能是由于铵态氮容易被土壤吸附和固定,不易流失。这说明在土壤生态条件下,土壤铵的释放有自己的规律。土壤铵态氮的含量受黏土矿物类型、 NH_4^+ 、 K^+ 、有机质含量,土壤质地,全氮量及其他阳离子等的影响,黏土矿物铵态氮含量和固定外源铵的潜力因土壤类型、管理措施和干湿交替而异^[12]。 NH_4^+ 固定受水分影响较大,廖继佩等对湖南省黄泥田土壤的铵态氮含量研究结果表明,铵态氮含量由大到小依次为干湿交替 8 次 > 长期干燥 > 长期淹水,因为其主要黏土矿物是蒙脱石,湿润不利于铵的固定^[13]。说明在植被生长过程中调节土壤水分可以有效调节铵态氮含量。我国土壤铵态氮含量在 35~573 mg/kg 变动,平均为 198 mg/kg,约占土壤全氮的 17.6%^[14]。可见,铵态氮是土壤氮素的重要组成部分。在作物生长期,土壤中的铵态氮可以释放出一部分^[15];因此,铵的矿物固定和释放是土壤氮素内循环的重要环节之一,它导致土壤具有较强的“稳肥性”。

地上总生物量与土壤中硝态氮含量呈正相关,而地上总生物量与土壤中铵态氮含量的相关性不明显。这是因为草原植物所需氮素主要来源于硝态氮,为满足植物生长需要,表层土壤中铵态氮大量转化为硝态氮。

4 结论

施氮能促进植物生长,增加植物地上生物量,但是高寒草原不同植物功能群对增施氮的反应不同,禾本科植物对氮肥增加的反应最大,莎草科和杂草类植物对施氮的响应并没有表现出明显规律。高寒草原施氮量为 8 g/m^2 最适宜,既能保证植物地上生物量达到最大,又能够降低土壤硝态氮淋溶的风险。

参考文献:

- [1] 章学梅,邹妍,韩烈保,等. 不同尿素施肥水平对北方混播草坪土壤中各形态氮的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(2):128-132.
- [2] 韩建国,刘帅,刘玉杰,等. 施肥对草地早熟禾草坪质量及土壤中硝态氮动态的影响[J]. 草业学报,2004,13(6):50-59.
- [3] 杨福国. 高寒草甸生态系统定位站自然状况[M]. 北京:科学出版社,1982:1-8.

张楠楠, 张 晓, 施明登, 等. 基于 SPA 和 PLS 的南疆绿洲区土壤盐分的近红外光谱分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 218–221.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.057

基于 SPA 和 PLS 的南疆绿洲区土壤盐分的近红外光谱分析

张楠楠, 张 晓, 施明登, 范泽华, 王 涛, 白铁成

(塔里木大学信息工程学院/中国农业科学院农业信息研究所新疆南疆农业信息化研究中心, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:应用近红外光谱技术结合连续投影算法(SPA)对南疆绿洲区土壤盐分进行分析,对 92 份土壤样品进行光谱扫描,应用不同预处理方法,以相关系数(r)、交互验证预测均方差(RMSECV)、预测标准差(SEP)、准确率(Precision)作为模型评价指标。首先建立土壤盐分预测的全波段偏最小二乘法(PLS)模型,13 种预处理方法中卷积平滑(savitzky golay smoothing,简称 SG 平滑)、傅里叶变换、SG 平滑 + 傅里叶变换的模型最好,SEP、RMSECV、 r 、Precision 分别为 0.019 876、0.024 978、0.982 686、0.965 362。同时应用 SPA 提取特征波长作为 PLS 的输入变量,建立 SPA-PLS 模型,13 种预处理方法中傅里叶变换处理方式的模型较好,SEP、RMSECV、 r 、Precision 分别为 0.016 931、0.016 769、0.987 467、0.968 915。结果表明,经连续投影算法提取 6 个特征波长建立的模型,所用变量数仅占全波段变量数的 0.38%,但 SPA-PLS 模型优于全波段的 PLS 模型。说明应用连续投影算法和 PLS 建立土壤盐分模型是可行的,并能获得满意的预测精度,可为土壤盐分预测模型研究提供一种新的思路和方法。

关键词:光谱预处理;土壤盐分;连续投影算法;PLS 建模

中图分类号: S153.6;O657.33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0218-04

在干旱与半干旱地区,土壤盐渍化是一种常见的土地退化方式^[1],已发展成为国内外土壤学研究的热点^[2]。土壤盐渍化是威胁农业生产和生态系统稳定的一个重要因素^[3],目前已成为全球性环境问题。新疆盐碱土总面积 848 万 hm^2 ,现有耕地中 31.1% 的面积受到了不同程度盐碱化危害^[4]。

收稿日期:2017-02-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:61362026);塔里木大学校长基金(编号:TDZKQN201506);国家自然科学基金青年科学基金(编号:61501314);塔里木大学现代农业工程重点实验室项目(编号:TDNG20150503)。

作者简介:张楠楠(1987—),女,河南洛阳人,硕士,讲师,主要从事农业遥感及作物模型研究。E-mail:893209892@qq.com。

通信作者:白铁成,硕士,副教授,主要从事干旱区作物遥感研究。E-mail:baitiecheng1983@163.com。

新疆南疆绿洲区为土壤盐渍化大区,盐碱土具有面积大、类型多、积盐重、形成复杂的特点^[5]。

近红外光谱(NIR)技术具有快速高效监测的特点,已经在农业及其他许多领域中得到广泛应用^[6-8]。近年来,许多专家学者致力于变量的选择问题^[9]和采用不同的光谱预处理方法使所建立的土壤模型更稳定和精确。如代希君等借助模糊 k-均值聚类方法、归一化处理等方法,采用偏最小二乘回归法进行全局盐分预测,预测精度有所提高^[10];张娟娟等选取全谱、合频、N-H 基团等组合的 8 个波段,采用多元散射校正等多种预处理方法组合进行土壤光谱样品处理,发现 4 000~5 500 cm^{-1} 波段的模型精度最好,其决定系数达到 0.90,说明模型具有极好的预测能力^[11];黄帅等把原始光谱经微分变换后的 12 种高光谱指数与土壤含盐量进行相关性分析,筛选出对土壤含盐量变化敏感的特征光谱波段,构建了

[4]李英年. 海北高寒草甸生态系统定位站气候概述[J]. 资源环境网络研究动态,1998(3):30-33.

[5]刘玉杰,韩建国,杨 艳,等. 施肥对草地早熟禾草坪质量、剪草量及蒸散量的影响[J]. 中国草地,2003,25(4):50-55.

[6]彭 琴,董云社,齐玉春. 氮输入对陆地生态系统碳循环关键过程的影响[J]. 地球科学进展,2008,23(8):874-883.

[7]Beard J B. Turfgrass: science and culture [M]. New Jersey: Prentice-Hall Englewood Cliffs, 1972:227-260.

[8]Theodose T A, Bowman W D. Nutrient availability, plant abundance, and species diversity in two alpine tundra communities[J]. Ecology, 1997,78(6):1861-1872.

[9]沈振西,陈佐忠,周兴民,等. 高施氮量对高寒矮嵩草甸主要类群和多样性的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):7-17.

[10]Synder G H, Burt E O, Davidson J M. Nitrogen leaching in

bermdagrass turf[J]. Turfgrass Society, 1981,107:313-314.

[11]刘高军,韩建国,魏臻武,等. 施氮对 1 年生黑麦草人工草地中硝态氮动态及氮素分配的影响[J]. 江苏农业科学,2010(5):307-310.

[12]Kowalenko C G, Yu S. Solution, exchangeable and clay-fixed ammonium in south coast British Columbia soils [J]. Canadian Journal of Soil Science, 1996,76(4):473-483.

[13]廖继佩,林先贵,曹志洪,等. 土壤固定态铵的影响因素[J]. 土壤,2003,35(1):36-40.

[14]朱维琴,章永松,林咸永. 土壤矿物固定态铵研究进展[J]. 土壤与环境,2000,9(4):333-335.

[15]Scherer H W, Weimar S. Fixation and release of ammonium by clay minerals after slurry application [J]. European Journal of Agronomy, 1994,3(1):23-28.