

高寒草地生态系统土壤碳、氮对气候变化和人为干扰的响应

陈懂懂

(中国科学院 西北高原生物研究所, 青省 西宁 810008)

摘要: 本文通过对高寒草地生态环境要素长期连续的监测, 围绕高寒草地生态系统土壤碳、氮对气候变化和人为干扰的响应, 以及对高寒草地牧草产量及品质等方面开展研究。

关键词: 高寒草地;生态系统;土壤碳;氮

1 专业技术成果介绍

1.1 高寒草地土壤碳、氮对干扰的响应

1.1.1 高寒草地土壤碳、氮、磷在区域上存在较大异质性

三江源土壤有机碳、总氮和总磷的区域分布呈东高西低的格局, 土壤无机碳则相反。土壤全磷的异质性较小, 表明整个地区的土壤母质差异可能不大。在区域上, 土壤养分主要受经度、土壤含水量、pH 值、植被高度和盖度的影响。

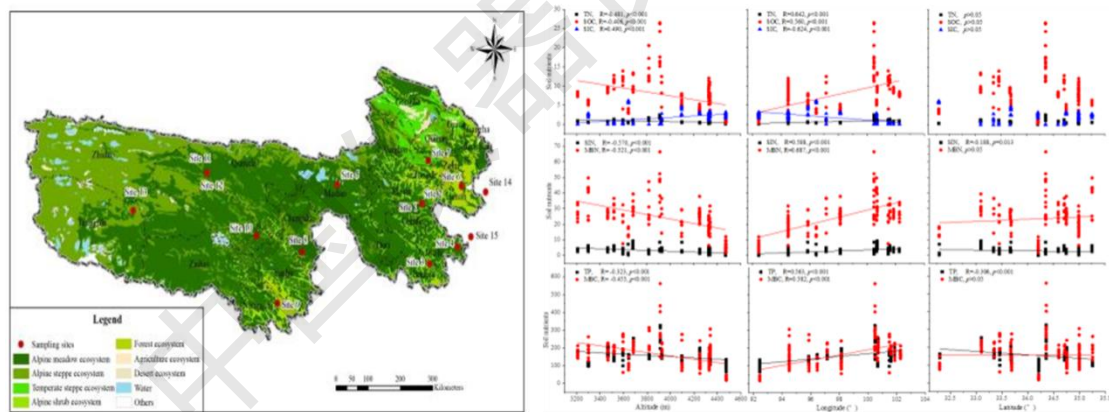


图 1 三江源土壤碳氮磷随经纬度变化

1.1.2 不同土地利用方式的改变影响碳、氮的累积和分配, 这主要受到物种生活史以及群落根/冠比的影响

对多年生单播人工牧草的研究发现, 牧草种植两年后, 不同牧草土壤中的碳、氮含量均发生显著变化。表明不同牧草对土壤养分的蓄积能力存在差异。



Table1 Soil nutrients in 0~15 cm soil layer under different sowed grassland

物种	Cmic		Nmic		SOC	TN	C	SOC/TN	C _{mic} /SOC/%	N _{mic} /TN/%	含水量/%	pH(1+2.5 KCl)	BD/(g·cm ⁻³)
	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(g·kg ⁻¹)	/(g·kg ⁻¹)									
西北羊茅	96.20±5.13 ^a	14.29±0.92 ^a	20.61±0.16 ^b	2.15±0.01 ^a	71.33±0.11 ^b	9.61±0.02 ^a	0.47±0.04 ^a	0.67±0.04 ^a	8.81±0.08 ^a	7.58±0.02 ^a	1.14±0.02 ^a		
	265.18±6.31 ^b	31.36±1.53 ^b	22.71±0.08 ^a	2.27±0.01 ^a	72.98±0.63 ^a	10.03±0.08 ^a	1.17±0.03 ^b	1.38±0.06 ^b	9.26±0.21 ^b	7.54±0.00 ^a	1.12±0.02 ^a		
披碱草	284.65±3.13 ^b	27.31±1.80 ^b	19.03±0.06 ^a	2.06±0.01 ^a	76.65±0.73 ^a	9.23±0.03 ^a	1.50±0.01 ^a	1.33±0.09 ^b	8.34±0.08 ^a	7.60±0.01 ^a	1.13±0.04 ^a		
	223.90±6.31 ^b	18.54±2.53 ^a	20.76±0.09 ^a	2.09±0.01 ^a	82.34±0.99 ^b	9.96±0.04 ^a	1.08±0.03 ^a	0.89±0.12 ^a	7.05±0.04 ^a	7.64±0.00 ^b	1.08±0.00 ^b		
紫野麦草	274.10±8.07 ^b	26.60±1.06 ^b	19.60±0.21 ^a	2.11±0.01 ^a	81.37±0.58 ^b	9.28±0.12 ^a	1.40±0.06 ^b	1.26±0.05 ^b	8.91±0.05 ^b	7.64±0.02 ^a	1.02±0.01 ^b		
	290.04±8.00 ^b	29.94±0.96 ^a	20.36±0.21 ^b	2.19±0.01 ^a	79.96±0.94 ^a	9.32±0.06 ^a	1.42±0.03 ^a	1.37±0.05 ^a	7.95±0.09 ^a	7.60±0.00 ^a	1.09±0.04 ^a		
光羊雀麦	282.61±11.08 ^b	25.68±0.63 ^b	19.00±0.08 ^a	2.11±0.01 ^a	83.16±0.59 ^b	9.02±0.07 ^a	1.49±0.06 ^b	1.22±0.03 ^a	8.62±0.10 ^a	7.59±0.01 ^a	1.07±0.01 ^b		
	180.21±3.25 ^a	26.10±0.64 ^b	18.80±0.07 ^a	2.07±0.01 ^a	92.19±1.01 ^b	9.09±0.05 ^a	0.96±0.02 ^a	1.26±0.03 ^a	10.39±0.07 ^a	7.67±0.00 ^a	1.00±0.02 ^a		
红花草	196.75±4.87 ^a	21.47±1.93 ^a	19.99±0.16 ^a	2.19±0.02 ^a	91.71±0.51 ^b	9.14±0.07 ^a	0.98±0.02 ^a	0.98±0.08 ^a	8.13±0.06 ^a	7.58±0.00 ^a	1.01±0.04 ^a		

图2 不同牧草播种土壤性质变化

通过同位素标记试验发现：长期围封和放牧等利用方式的不同使得高寒草地光合碳在各分室（地上、根系、土壤、呼吸等）的分配比例大不相同。其中退耕还林草措施利于光合碳在土壤中的存储，而围封措施却起到相反的作用。

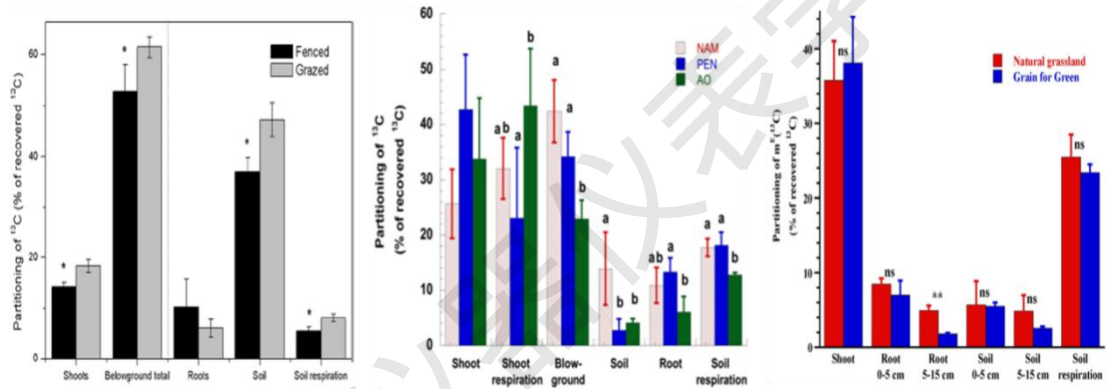


图3 不同利用方式下光合碳的分配

1.1.3 长期增温对土壤碳、氮无显著影响

长期增温 (>15 年) 虽然影响了土壤活性碳、氮对土壤有机碳和全氮的贡献，但没有显著改变高寒草甸和高寒灌丛土壤有机碳和全氮的储量。

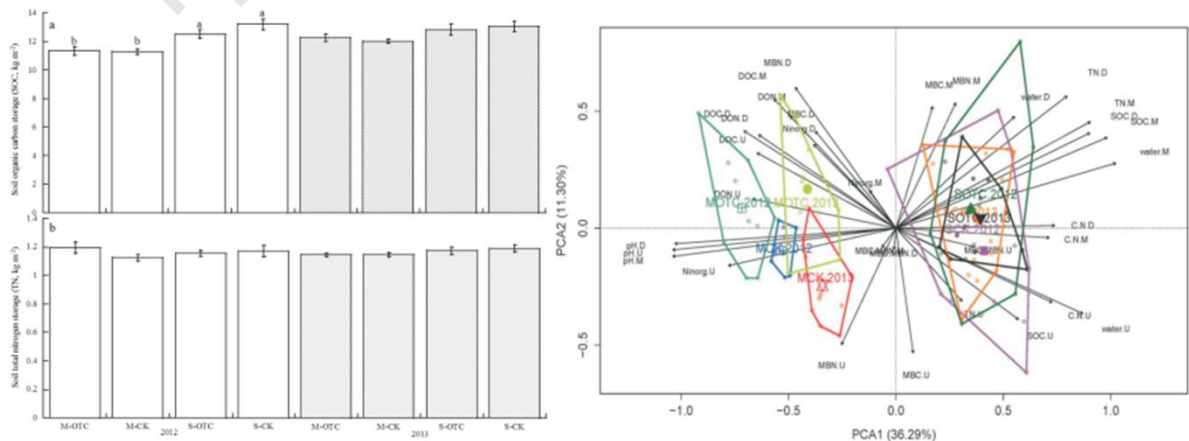


图4 两种生态系统土壤碳氮对增温的响应

1.1.4 土壤碳、氮对草地恢复措施响应

气候变化和干扰等引起的草地退化影响了草地畜牧业发展，因此对退化草地施行恢复措施是一项保障畜牧业可持续发展的重要举措。在黑土滩进行人工草地建植，对中度退化草地实施短期休牧，以及退耕还林草等措施，均提升了土壤碳、氮储量。

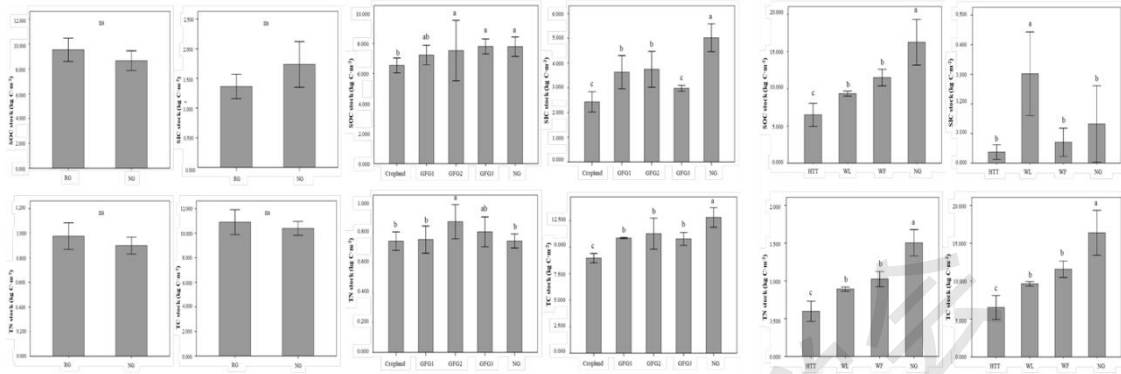


图5 不同恢复措施下土壤碳氮变化

1.2 高寒草地植被调查及牧草养分研究

1.2.1 三江源草地 GNDVI 年际波动及其敏感性研究

对三江源区 2000-2015 年高寒草地生长季 GNDVI 年际波动的分析显示，自 2000 年以来，三江源区高寒草地 GNDVI 存在较大的年际波动；在不考虑草地类型的情况下，低海拔地区 GNDVI 的年际波动受降雨主导，而温度是高海拔地区 GNDVI 年际波动的主导因子。

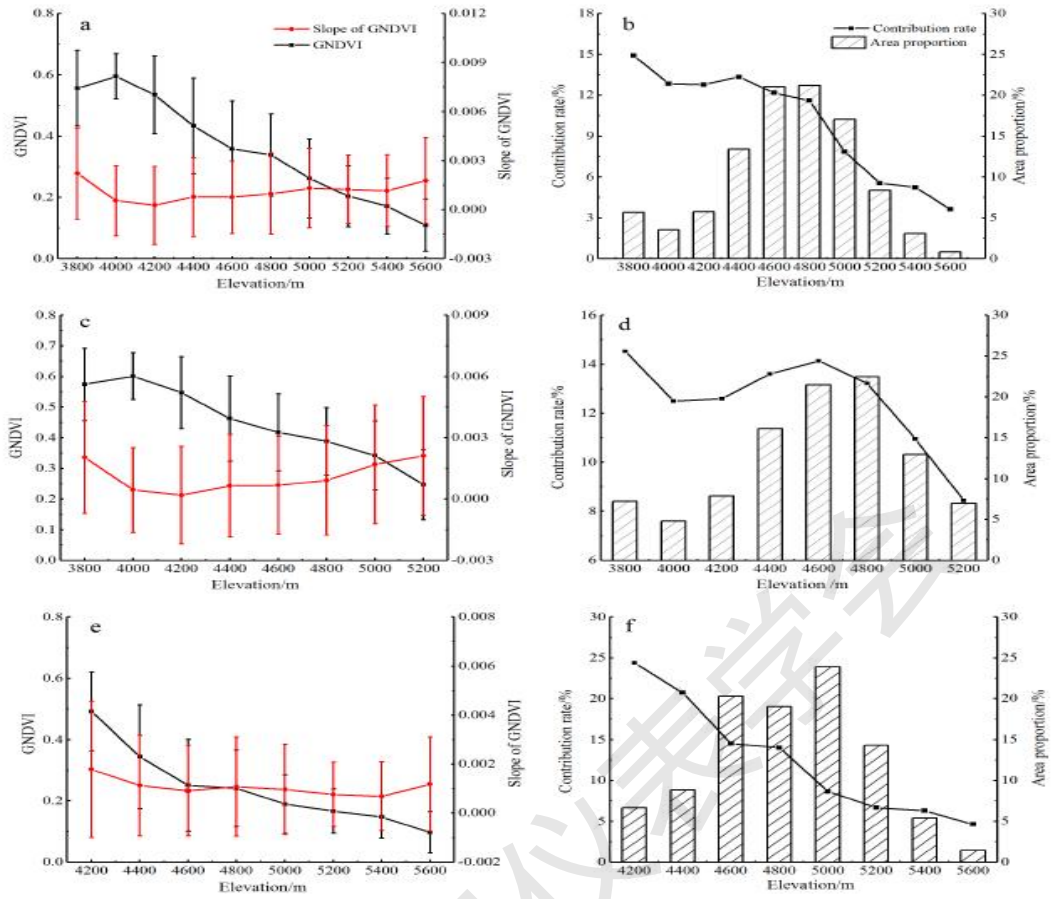


图6 2000-2015年三江源区(a, b)、草甸区(c, d)和草原区(e, f)GNDVI的年度波动沿海拔变化

表 1 不同海拔梯度 GNDVI 的年际波动与年均温和年降水的关系

Elevation/m	TRH		Meadow		Steppe	
	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>P</i>
3 800	-0.06	0.44	-0.05	0.42	-	-
4 000	0.07	0.21	0.06	0.20	-	-
4 200	0.19	0.25	0.19	0.24	0.05	0.41
4 400	0.23	0.37	0.24	0.35	0.19	0.41
4 600	0.34	0.43	0.31	0.41	0.39	0.46
4 800	0.42	0.44	0.41	0.41	0.45	0.48
5 000	0.47	0.40	0.47	0.34	0.39	0.40
5 200	0.44	0.30	0.44	0.10	0.29	0.31
5 400	0.42	0.08	-	-	0.36	0.10
5 600	0.41	-0.44	-	-	0.40	-0.38

t: 年均温度波动 IAV of mean annual temperature; *P*: 年降水量波动 IAV of mean annual precipitation

1.2.2 不同海拔梯度牧草产量及养分变化研究

对不同海拔梯度牧草产量及养分的变化分析发现：牧草粗蛋白、粗灰分含量随海拔升高而增加，纤维（NDF，ADF）则相反。牧草产量主要受到土壤有机碳和 pH 的影响，而牧草养分（蛋白）主要受到海拔、物种丰富度、土壤无机氮以及全磷的影响。

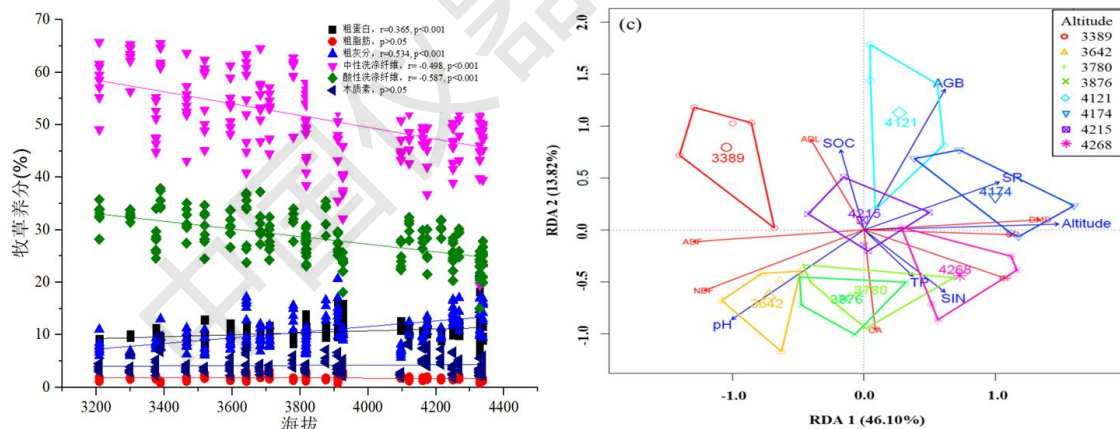


图 7 牧草养分随海拔变化及其影响因素提取

1.2.3 高寒草地理论承载力估算

对县域尺度高寒草地的实地调查发现，曲麻莱县域草地单位面积产草量低（单位面积草产量 643.29 kg/ha，理论载畜量 0.253 羊单位/ha），草地载畜压力较大。而玛多县状况相对较好（单位面积草产量 988.36 kg/ha，理论载畜量 0.444 羊单位/ha）。该结果可为对三江源国家公园天然草地保护实施决策提供基础数据支撑。

而对三江源区域尺度草地的调查分析发现，高寒草地牧草及粗蛋白产量，及其理论承载

力在三江源区域上的分布为东南高西北低。这一结果为三江源国家公园范围内牧业生产上转变畜牧业经营方式提供了理论支撑。

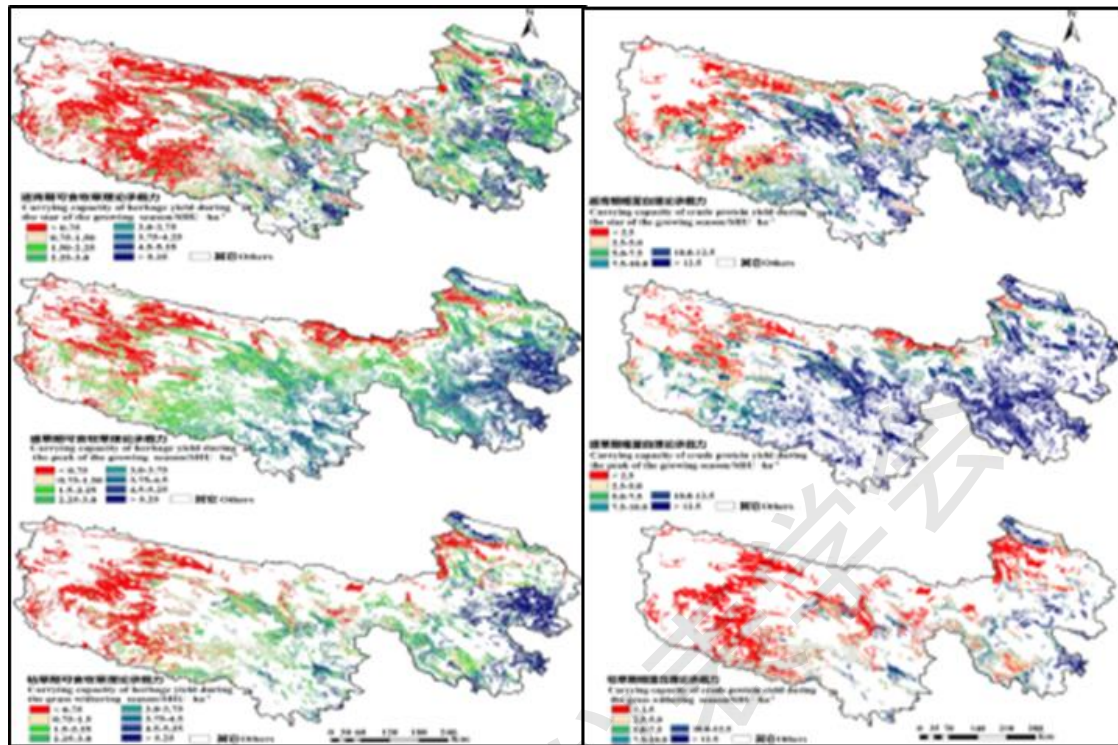


图8 三江源高寒草地可食牧草（左）及营养（右）理论承载力

1.3 基于野外采样及室内分析中的技术突破

1.3.1 一种土壤容重检测样品的采集装置（已授权实用新型）

对土壤系统的调查，土壤容重是不可缺少的指标。针对现有技术的不足，我们以传统环刀为参考，对其进行了改进。本采集装置，环刀与手柄通过旋转插接或者直接插接实现手柄本体与环刀的可拆卸连接；通过手柄及橡胶锤辅助环刀采集土样；活动提手能够方便快捷，且不破坏采样周围生境的情况下拉出环刀，同时还具有节省人力和物力的优点；推土器辅助环刀取出环刀的样品，由于推土器长度大于环刀长度，所以取出后的样品具有完整性。

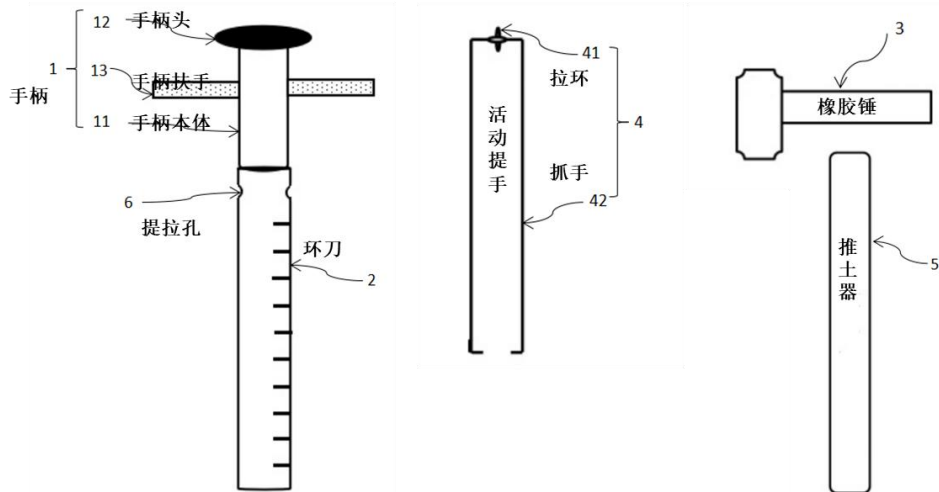


图9 一种土壤容重检测样品的采集装置

1.3.2 一种连接压力膜仪压力室排水口的接水装置（已授权实用新型）

压力膜仪是研究土壤与水分之间物理关系的基本工具。针对现有技术的不足，对设备进行了改造，提供一种连接压力膜仪压力室排水口的接水装置。接水器由瓶身和瓶盖组成；瓶盖上开设有通气孔和插孔；排水管由排水总管和排水支管组成；排水总管一端与插孔可拆卸连接，另一端与排水支管可拆卸连接，或者与压力膜仪排水口可拆卸连接。本接水装置使用方便，保证了从压力室内流出的水不会因天气等外部原因快速挥发，而且进行称重时也可以防止水样洒出，规避了原装置因盆浅且表面积大带来的实验误差。

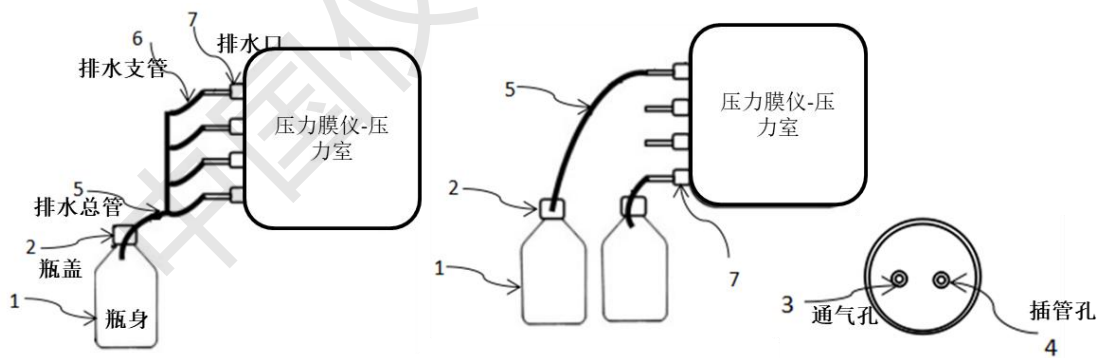


图10 一种连接压力膜仪压力室排水口的接水装置

2 专业技术人员介绍

2.1 个人简介

陈懂懂：女，汉族，山东广饶人，生于1982年12月。于2010年6月毕业于兰州大学，获得理学博士学位。于2010年7月至今，就职于中国科学院西北高原生物研究所，职称为高级工程师。

2.2 专业技术研究方向

研究方向：草地生态学和土壤生态学。主要围绕草地固碳及其影响因素，土壤化学计量特征，以及草地牧草营养等方面开展工作。

2.3 承担科技项目及代表论著

2.3.1 主持项目：

(1) 青海高寒草地生态系统的水分收支研究，执行期间 2021-2023，经费 25 万（青海省基础研究计划项目）。

(2) 第二次青藏科考“玛多县和曲麻莱县草畜平衡时空格局及资源空间优化配置”，执行期间 2019-2022，经费 59 万（第二次青藏高原综合科学考察研究项目，所属专题：草地生态系统与生态畜牧业）。

(3) 三江源国家公园典型草地稳定性及其承载力，执行期间 2019-2021，经费 60 万（中科院“西部之光”A 类项目）。

(4) 典型区域牧草营养时空变化，执行期间 2016-2021，经费 130 万（为国家重点研发项目，所属专项：典型脆弱生态修复与保护研究）。

(5) 三江源典型区域高寒草地主要可食牧草营养时空动态，执行期间 2017-2019，经费 20 万（青海省青年基金项目）。

2.3.2 代表论著

[1] Chen Dongdong, Li Qi, Li Chunli, et al. Density and stoichiometric characteristics of carbon, nitrogen, and phosphorus in surface soil of alpine grassland in Sanjiangyuan. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2022, 31(4): 3531-3539.

[2] Chen Dongdong, Li Qi, He Fuquan, et al. Restoration Measures Supported Surface Soil Carbon and Nitrogen Density in Alpine Grassland of Sanjiangyuan Region, China. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2020, 29 (5): 3071-3083.

[3] Chen Dongdong, Li Qi, Liu Zhe, et al. Variations of forage yield and nutrients with altitude gradients and their influencing factors in alpine meadow of Sanjiangyuan, China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2020, 20:2164-2174.

[4] Chen Dongdong, Zhao Liang, Li Qi, et al. Response of soil carbon and nitrogen to 15-year experimental warming in two alpine habitats (Kobresia meadow and Potentilla shrubland) on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2016, 25(6), 2315-2323.

- [5] Li Qi, Chen Dongdong, Zhao Liang, et al. More than a century of Grain for Green Program is expected to restore soil carbon stock on alpine grassland revealed by field ^{13}C pulse labeling. *Science of the Total Environment*, 2016,550: 17-26.
- [6] 陈懂懂,赵亮,贺福全,陈昕, 霍莉莉, 赵新全, 徐世晓, 李奇.三江源高寒草地常见可食牧草在不同分布区的营养成分分析.草原与草坪,2021,41(4): 134-142.
- [7] 陈懂懂,李奇,陈昕,贺福全,赵新全,徐世晓,赵亮.三江源农牧交错区土壤微生物碳、氮以及群落碳代谢特征对一年生禾豆混播的响应.草地学报,2018,26(5):1064-1070.
- [8] 陈懂懂,李奇,刘哲,刘力华,翟文婷,徐世晓,赵新全,赵亮.9种牧草对青海同德牧区土壤特性的影响.草原与草坪,2016,36(4):41-47.
- [9]陈懂懂, 李奇, 邹小艳, 赵新全, 徐世晓, 蔡海, 邹婧汝, 赵亮.青海湖农场退耕还林草后的土壤碳氮变化.草地学报,2014,22(3):469-474.
- [10] 一种土壤容重检测样品的采集装置. 发明人:陈懂懂,李奇,赵亮,贺福全,霍莉莉,陈昕,张莉.专利号: ZL 2021 2 3340945.2.
- [11] 一种连接压力膜仪压力室排水口的接水装置. 发明人:陈懂懂,李奇,赵亮,张莉,霍莉莉,贺福全,陈昕,陈志霞,刘伟华. 专利号: ZL 2022 2 0598148.X.

2.4 获奖及荣誉

- (1) 获得“兰州资源环境科学大型仪器区域中心 2015 年度技术与服务工作先进个人”称号。
- (2) 获得《草业科学》“2018 年度优秀审稿专家”称号。
- (3) 获得 2020 年度所级先进工作者称号。
- (4) 获得 2021 年度中科院兰州分院优秀青年称号。



中国仪器网