

冻融对伊犁草地土壤水稳性大团聚体的影响

徐 俏<sup>1,3</sup>,崔 东<sup>1,2</sup>,王兴磊<sup>1</sup>,朱振华<sup>1</sup>

(1. 污染物化学与环境治理重点实验室,伊犁师范学院化学与环境科学学院,新疆 伊宁 835000;  
2. 伊犁师范学院生物与地理科学学院,新疆 伊宁 835000; 3. 新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆 乌鲁木齐 830054)

**摘 要:**以伊犁托乎拉苏大草原土壤为研究对象,进行 0~20 cm 草地表层土壤混合样品多点采集,实验室内依据干筛法取得各粒级大团聚体,模拟不同含水率、冻融试验,利用湿筛法获得每种粒级的水稳性大团聚体质量,对实验数据进行统计分析,研究草地土壤在冻融环境条件下其水稳性大团聚体的特征、变化规律及其机理。研究表明:(1) 初始水分含量是影响土壤水稳性大团聚体的关键因素。随着土壤初始含水率的提高,>5 mm、5~4 mm、4~2 mm、2~1 mm 四个粒径组水稳性团聚体,呈现出逐渐降低、或先升高后降低的变化趋势;1~0.5 mm、0.5~0.25 mm 呈现先降低后增加、或先增加后降低再增加的趋势。(2) 冻融循环次数是影响土壤水稳性大团聚体的重要因素。随冻融循环次数的增加,各组粒级水稳性团聚体表现出的规律性不尽相同,>1 mm 水稳性团聚体整体有降低趋势,1~0.5 mm、0.5~0.25 mm 两组粒径水稳性团聚体则整体呈现增加趋势。(3) 冻结温度是影响土壤水稳性大团聚体的另一重要因素,随着冻结温度的降低,>5 mm 与 5~4 mm 水稳性团聚体有降低的趋势,1~0.5 mm 与 0.5~0.25 mm 水稳性团聚体有升高的趋势,4~2 mm 与 2~1 mm 两个粒级水稳性团聚体并无显著变化。

**关键词:**水稳性大团聚体;草地土壤;冻融作用;湿筛法;冻融循环次数;冻结温度

**中图分类号:**S155.4<sup>+</sup>7 **文献标志码:**A

Effects of freezing and thawing on soil water stable aggregates in Yili grassland

XU Qiao<sup>1,3</sup>, CUI Dong<sup>1,2</sup>, WANG Xing-lei<sup>1</sup>, ZHU Zhen-hua<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Pollutant Chemistry and Environmental Treatment, College of Chemistry & Environmental Sciences, Yili Normal University, Yining, Xinjiang, 835000, China;  
2. College of Biology and Geography, Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835000, China;  
3. College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

**Abstract:** This study mainly took the soil of grassland in Yili as the research object. We sampled the 0~20 cm surface soil of Tuohulasu grassland in Yining County and obtained soil aggregates in different particle fraction via dry sieving method. After simulating water rate of soil aggregates and conducting freeze-thaw tests at laboratory, the weight of different size fraction water-stable aggregates were measured via wet sieving method. The results showed that: (1) Initial moisture content is the key factor affecting soil water stable aggregates. With the increase of soil initial moisture content, four size fraction water-stable aggregates, including >5 mm, 5~4 mm, 4~2 mm and 2~1 mm, gradually declined, or declined after an increase; water stable aggregates of 1~0.5 mm and 0.5~0.25 mm size fraction showed the changing trend of increasing first and then decreasing, or increase first, then decline and then increase again. (2) The frequency of freeze-thaw cycles is an important factor affecting soil water-stable aggregates. With an increasing frequency of freeze-thaw cycles, each size fraction of water stable aggregates showed different patterns. Water stable aggregates in >1 mm size fraction had overall decreasing trend, while other two size fractions of the aggregates including 1~0.5 mm and 0.5~0.25 mm showed an increasing trend. (3) Freezing temperature is another important factor affecting soil water stability. While the temperature decreased, the water stable aggregates of >5 mm and 5~4 mm size fraction also decreased, however, water stable aggregates of 1~0.5 mm and 0.5~0.25 mm size fractions increased significantly, and water-stable aggregates of 4~2 mm and 2~1 mm size fractions had no significant changes.

收稿日期:2016-08-03 修回日期:2017-03-29  
基金项目:伊犁师范学院污染物化学与环境治理重点实验室开放课题科研项目资助(2016HJZD05)  
作者简介:徐 俏(1994—),女,江苏泰兴人,硕士研究生,研究方向为土壤生态环境。E-mail:15739036377@sina.cn。  
通信作者:崔 东(1984—),男,博士生,讲师,主要从事土壤地理与环境变化研究。E-mail:cuidongw@126.com。

**Keywords:** water stable aggregate; grassland soil; freezing and thawing; wet sieving method; freeze-thaw cycles; freezing temperature

草地在人类的生产和生活、自然环境的保护与改善中发挥着其它生态系统所不可取代的重要作用,而草地土壤质量、健康程度和土壤侵蚀对草地生态安全显得尤为重要。土壤结构最基本的单元是土壤团聚体,被认为是土壤重要的物理属性之一<sup>[1]</sup>,也是土壤健康程度与土壤质量的一个关键指标<sup>[2]</sup>。在生态系统中许多过程和功能都与土壤团聚体稳定性有着紧密的联系,不仅土壤的空隙性、持水性和抗侵蚀性受它影响,土壤质量、肥力以及后续利用等都受到土壤团聚体稳定性的影响,土壤团聚体对完善土壤功能、改善土壤的理化环境也具有重要作用<sup>[3-4]</sup>。然而人类活动和自然因素影响作为土壤基本结构的团聚体的稳定性,如降雨<sup>[5]</sup>、垦殖<sup>[6]</sup>、土地利用方式<sup>[7]</sup>和冻融作用<sup>[8]</sup>等。

有关研究表明,冻融作用中土壤初始含水率、冻融循环次数和冻结温度对土壤团聚体的结构产生重要的影响,会对土壤产生不稳定效应<sup>[9]</sup>。伊犁河谷夏季短,冬季长,春季升温快但不稳定,秋季降温迅速<sup>[10]</sup>。由于海拔高,气温低,冬季冻结,夏季消融,多年冻土类型少,温度发生周期性的正负变化,产生一系列的应力变化,例如在冻土层发生流变、融沉、冻胀等<sup>[11]</sup>,同时一部分土壤存在于一直在发生位移和相变的冻土层中的地下冰和地下水中<sup>[12]</sup>,使得伊犁产生季节性冻融。草地不仅是伊犁生态系统的主体与伊犁河谷绿色生态屏障,而且还是畜牧业发展的物质基础,草地在伊犁河谷水土保持、防风固沙、保持生物多样性、维持生态平衡以及生产生物产品,满足人类物质生活中具有重要作用<sup>[13]</sup>。因此本研究在不同初始含水率、冻融循环次数和冻结温度的条件下,初步探究冻融作用对伊犁草地土壤水稳性大团聚体的影响,以期能够为伊犁草地生态保护建设以及水土保持提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

伊犁哈萨克自治州托乎拉苏大草原(81°38'22"E,44°14'59"N)海拔 1 640 m,年平均气温约为 9℃,其中最低温度为 -39.5℃,年均有效积温 2 550℃,年均降水量 340 mm<sup>[14]</sup>,年平均日照时数为 2 900 h,年均蒸发量为 1 621 mm,一整年太阳总辐射量为 134.5 kW·cm<sup>-2</sup>,无霜期为 163 d,地下水埋深 20~30 m。气候特征既有极热的夏季,又有酷寒的冬季,是温带

大陆性气候分布区之一<sup>[15]</sup>。

### 1.2 土壤样品采集与准备

土壤样品取自托乎拉苏大草原,采集多点 0~20 cm 表层土混合样,取回后经风干、去除植物根系残留等杂质后备用。干筛法<sup>[16]</sup>分离出 >5、5~4、4~2、2~1、1~0.5、0.5~0.25、<0.25 mm 共 7 个粒径组团聚体,并对各组粒级团聚体进行称重。其中土壤样品基本理化性质如下:容重 1.38 g·cm<sup>-3</sup>,有机质 65.89 g·kg<sup>-1</sup>,pH6.0,速效氮 145.98 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 6.80 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 124.00 mg·kg<sup>-1</sup>。土壤质地为粘粒 36.76%、粉粒 35.59%、砂粒 27.65%。

### 1.3 冻融实验设计

按干筛法得到草地土壤各粒径组团聚体质量后计算其所占比例<sup>[17]</sup>,再将各粒级团聚体按照其所占比例配制成混合均匀且每一组都为 50 g 的土样,将每个 50 g 混合土样分别放置在已知规格为 100 mL 玻璃烧杯内,轻拍烧杯壁,使用规格为 50 mL 玻璃烧杯均匀抹平样品表面并缓缓压实烧杯中的土壤样品<sup>[18]</sup>,使土壤容重达 1.38 g·cm<sup>-3</sup>,紧靠着烧杯内壁使用装满已知体积自来水的喷壶缓缓注入一定水<sup>[19]</sup>,用保鲜膜密封烧杯防止水分流失。然后设置对照实验,利用 DHS20-A 型号土壤水分速测仪测定其水分含量,以达到实验模拟的含水率<sup>[20]</sup>。获得不同实验组模拟含水率所需水量后,将其它已配制好的土样分别注入相应水量,达到实验设计的初始含水率,再将烧杯放置于可调节温度的冰箱内进行不同冻融温度以及不同冻融循环次数的处理。其中土壤初始含水率分别设为 10%、20%、30%、40%、50%;冻融循环次数分别设为 0、1、3、5、7、9;冻结温度分别设为 -5℃、-15℃、-25℃,解冻温度均为 +7℃。最后用湿筛法<sup>[21]</sup>测定经过冻融循环作用处理的草地土壤水稳性团聚体质量<sup>[22-24]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 初始含水率对草地土壤水稳性团聚体的影响

图 1 为设置的对照组,温度 7℃,未经过冻融循环,观察在无冻融作用条件下,不同初始含水率对水稳性大团聚体特征的影响。从图 1 中可以得出,>5、4~2、2~1 mm 三个粒径组水稳性大团聚体在初始含水率不断提高的状态下呈现出先增加后降低的变化趋势,并且在初始含水率为 20%时形成一个

峰值;5~4 mm 这一粒径水稳性大团聚体随着初始含水率的提高,表现出先增加后降低再增加再降低的波纹变化状态;1~0.5、0.5~0.25 mm 这两个粒径水稳性团聚随着初始含水率的提高呈现先增加后降低再增加的变化趋向。

由图 2 可知,在实验室模拟的 1 次冻融循环、-25℃的冻结温度、7℃的融化温度条件下,当含水率<20%时,>5、5~4、4~2、2~1、1~0.5 mm 五个粒径组水稳性团聚体均表现为逐渐降低的趋势;当含水率在 20%到 30%时,>5、5~4、4~2、2~1 mm 这四个粒径的稳性团聚体质量都呈现出逐渐增加的趋势,呈现降低趋势的水稳性大团聚体是 1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 两个粒径组。当含水率>30%时,具有逐渐增加趋向的水稳性大团聚体为 0.5~0.25 mm 粒径组;与其相反,>5、5~3、3~2、2~1、1~0.5 mm 这五个粒径组水稳性大团聚体的质量都是随着初始含水率的提高逐渐呈现出降低的趋势。

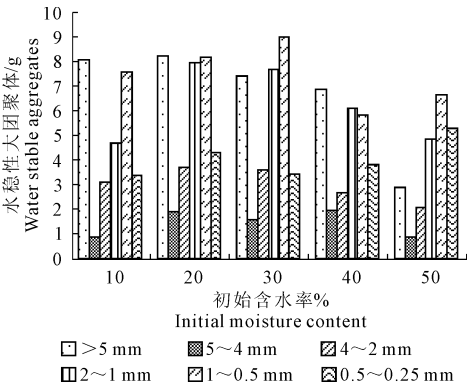


图 1 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FTC = 0)

Fig.1 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

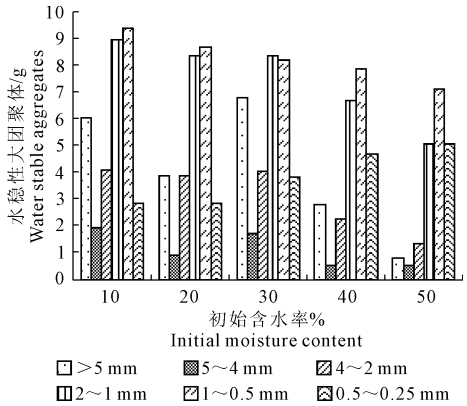


图 2 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃;FTC = 1)

Fig.2 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

由图 3 可知在实验室模拟冻结温度为 -25℃、融化温度为 7℃、冻融循环 3 次的试验时,>5 mm 粒径组水稳性团聚体先增加后降低,在含水率为 30%时达到一个峰值;5~4、4~2、2~1 mm 粒径组呈现出随含水率的提高而降低的趋势;1~0.5 mm 粒径组表现出不稳定的波动;而 0.5~0.25 mm 粒径组表现出随着含水率的提高逐渐增加的趋势。

如图 4、图 5 所示,分别在实验室模拟冻结温度为 -25℃、融化温度为 7℃、循环次数不同的冻融试验,结果表明,循环 5 次和循环 7 次条件下土壤团聚体具有相似变化规律,>5、5~4、4~2、2~1 mm 这四个粒径的团聚体都明显地随着含水率的提高而逐渐表现出降低的趋势;具有先提高后降低再增加变化趋势的是水稳性大团聚体为 1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 这两个粒径组。

如图 6 所示,在实验室模拟的冻结温度 -25℃、融化温度 7℃、冻融循环 9 次的处理条件下,具有先增加后降低变化规律的水稳性大团聚体是>5 mm、

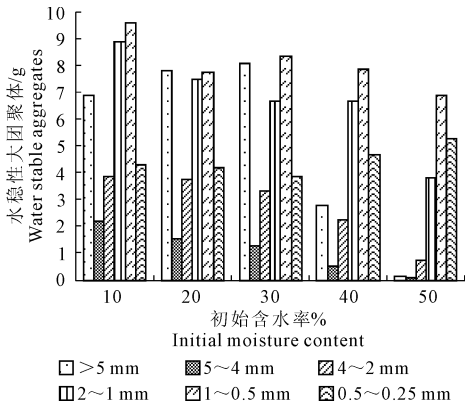


图 3 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃;FTC = 3)

Fig.3 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

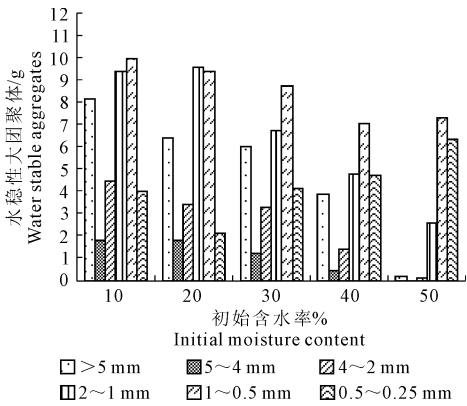


图 4 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃;FTC = 5)

Fig.4 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

2~1 mm 两个粒径组,并且在初始含水率增长到 20 时形成一个顶峰;先增加后降低水稳性大团聚体是粒径为 4~2 mm 的颗粒,在初始含水率为 30%时到达一个峰值;5~4 mm 水稳性团聚体整体是在降低,整体上呈现增加变化趋势的团聚体是 1~0.5 mm、0.5~0.25 mm 两个粒径组。

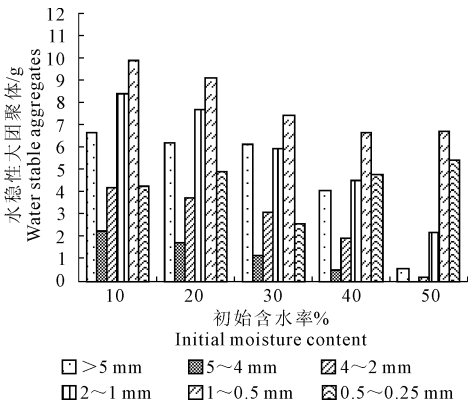


图 5 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃;FTC = 7)

Fig.5 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

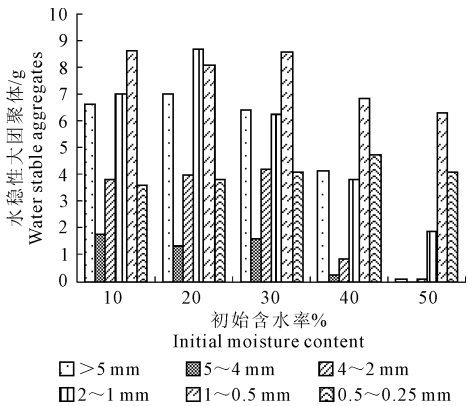


图 6 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃;FTC = 9)

Fig.6 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

由图 7 可知,在实验室模拟的 -5℃冻结温度、1 次的冻融循环过程、7℃融化温度的条件下,初始含水率为 30%时,水稳性大团聚体质量到达顶峰状态的有 5~4、4~2、2~1 mm 三个粒径组,并且随着初始含水率的提高呈现出先增加后降低的总体变化趋向,与其相反,>5 mm 粒径组的水稳性大团聚体呈现出逐渐降低的趋势;随着初始含水率的逐渐提高,表现出先降低后增加再降低规律的是 1~0.5 mm 水稳性大团聚体,而 0.5~0.25 mm 这个粒径组水稳性大团聚体显现出先增加后降低再增加的波动状态。

-15℃冻结温度、7℃融化温度、1 次冻融循环的实验室模拟条件下,如图 8 所示,随着含水率的提

高质量逐渐降低的水稳性团聚体是 >5 mm 的粒径组;5~4、4~2、2~1 mm 三个粒径组水稳性团聚体表现出先增加后降低的变化趋势,在初始含水率为 30%时达到峰值,而 1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 这两个粒径组的水稳性团聚体则表现为波动状态,但整体上是呈现出增加的趋势。

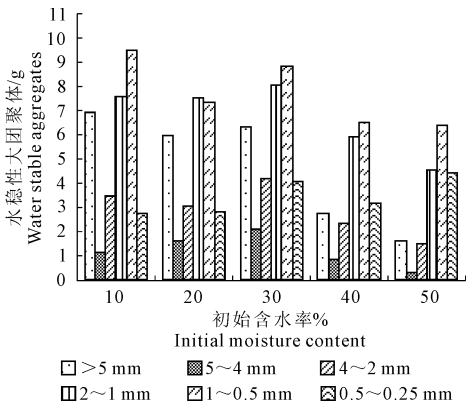


图 7 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -5℃;FTC = 1)

Fig.7 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

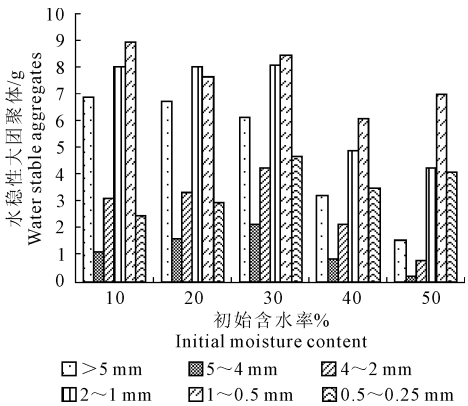


图 8 初始含水率对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -15℃;FTC = 1)

Fig.8 Effect of initial water content on soil water stable aggregates

对于草地土壤而言,>5、5~4、4~2、2~1 mm 四个粒径组水稳性团聚体在初始含水率为 20% 或者是 30%时达到顶峰状态,其变化趋势是随着初始含水率的提高先增加后降低;1~0.5 mm 与 0.5~0.25 mm 被认为是变化不一的两个粒径组水稳性团聚体,它们的变化趋势是先增加后降低、先降低后增加、先降低后增加再降低或者先增加后降低再增加<sup>[25]</sup>。

对于>5、5~4、4~2、2~1 mm 四个粒径组团聚体,当含水率<20%时,团聚体的破碎效应小于其团聚效应,因此会引起水稳性团聚体质量的增加,而且随着含水率增加,团聚效应更强,水稳性团聚体质量

更大,最终造成水稳性团聚体质量的增大;同时含水率增高,土粒间的黏结力变大,进一步促进土粒的团聚<sup>[26]</sup>;当含水率 > 30% 时,团聚体的破碎效应要强于其团聚效应,且含水率愈高,其破碎效应愈显著,同时含水率愈高土粒间的黏结力愈小,引起团聚体的崩解。对于 1~0.5 mm,0.5~0.25 mm 两个粒径组团聚体,由于细小颗粒团聚体同较大颗粒团聚体相比,其内部空间较小,同一含水率时,其破碎效应要高于团聚效应,当含水率 < 30% 时,含水率愈高,其破碎效应愈显著,造成团聚体的破碎崩解;而当含水率 > 30% 时,水稳性团聚体质量的增大则可能是由较大颗粒团聚体破碎崩解为微小的团聚体而导致<sup>[27]</sup>。

2.2 冻融循环次数对草地土壤水稳性团聚体的影响

由图 9 可知,在实验室模拟样品土壤被冻结的温度是 -25℃,被融化温度 7℃,并且 10% 的初始含水率状态下,>5 mm 水稳性大团聚体随着冻融循环次数的不断增加,呈现出先降低后增加再降低的变化趋势;1~0.5 mm 水稳性团聚体先增加后降低,在冻融循环为 5 次的时候达到峰值;表现先降低后增加再降低的波形变化,但整体呈升高趋势的是 0.5~0.25 mm 水稳性大团聚体;整体随着冻融循环次数增加质量先增加后降低的是 5~4 mm、4~2 mm、2~1 mm 三个粒径组水稳性大团聚体。

在实验室模拟的冻结温度为 -25℃、融化温度 7℃、初始含水率为 20% 的条件下,如图 10 所示,随着冻融循环次数的增加,>5 mm、5~4 mm 两个粒级水稳性团聚体呈现出波纹变化,但整体的变化趋势是降低;4~2 mm 水稳性团聚体变化平缓;2~1 mm、1~0.5 mm 及 0.5~0.25 mm 水稳性团聚体也是波形变化,但整体呈现出增加的趋势。

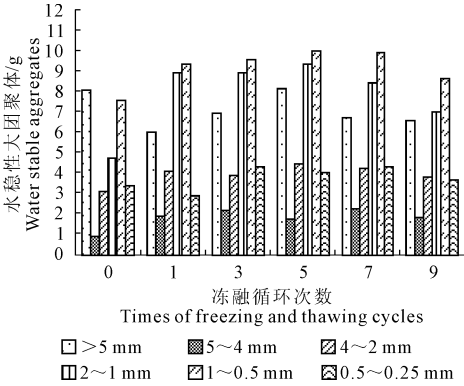


图 9 冻融循环次数对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃; IMC = 10%)  
Fig.9 Effect of freeze-thaw cycles on soil water stable aggregates

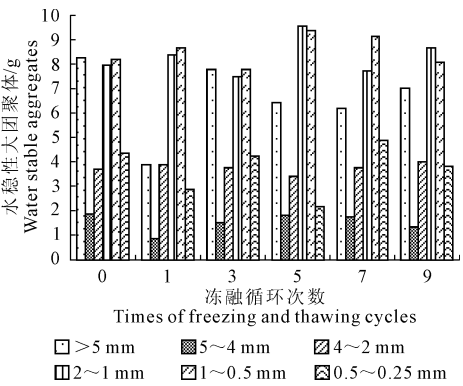


图 10 冻融循环次数对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃; IMC = 20%)  
Fig.10 Effect of freeze-thaw cycles on soil water stable aggregates

如图 11 所示,实验室模拟 -25℃ 的冻结温度、7℃ 的融化温度、30% 初始含水率的基本条件下,随着冻融循环次数的增加,水稳性团聚体中 >5 mm、5~4 mm、4~2 mm 粒径组呈现出波纹变化,但整体的变化趋势是降低或保持平缓;而水稳性团聚体也是波形变化,但整体趋势增加的是 2~1 mm、1~0.5 mm 及 0.5~0.25 mm 这三个粒径组。

如图 12 所示,在实验室模拟冻结温度 -25℃、融化温度 7℃、含水率 40% 的条件下,随着冻融循环次数的增加,>5 mm 水稳性团聚体先降低后增加;5~4 mm、4~2 mm 两个粒级水稳性团聚体逐渐降低;2~1 mm、1~0.5 mm 水稳性团聚体先增加后降低,在冻融循环 3 次时形成峰值。

实验室模拟样品土壤被 -25℃ 温度冻结、7℃ 融化、50% 的初始含水率处理后,如图 13 所示,>5 mm、5~4 mm、4~2 mm、2~1 mm 四个粒径组的水稳性大团聚体质量在冻融循环次数不断增加的条件下逐渐降低;呈现出整体先增加后降低变化趋势的是 1~0.5 mm 及 0.5~0.25 mm 这两个粒径组水稳性大团聚体。

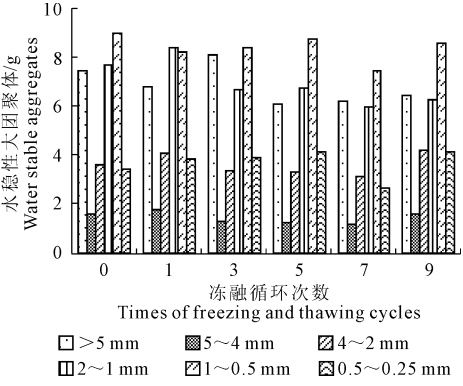


图 11 冻融循环次数对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃; IMC = 30%)  
Fig.11 Effect of freeze - thaw cycles on soil water stable aggregates

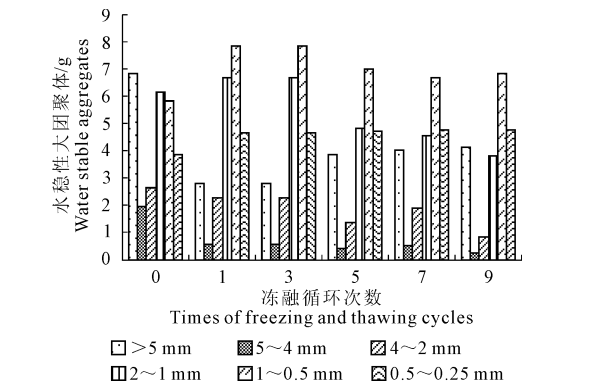


图 12 冻融循环次数对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃; IMC = 40%)

Fig. 12 Effect of freeze-thaw cycles on soil water stable aggregates

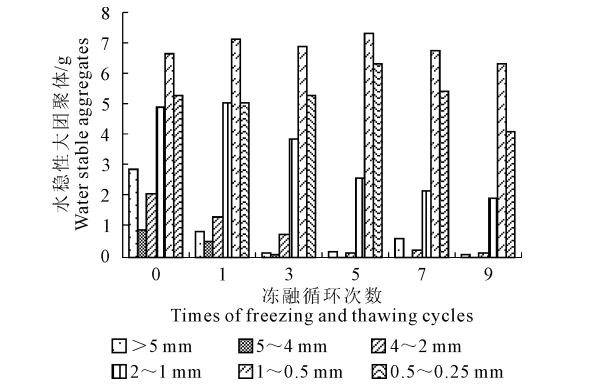


图 13 冻融循环次数对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FT = -25℃; IMC = 50%)

Fig. 13 Effect of freeze-thaw cycles on soil water stable aggregates

对于 >5 m、5~4 m、4~2 mm、2~1 mm 四个较大颗粒粒径组团聚体来说,其本身抵抗内部收缩力和外部挤压力的能力要远远低于较小粒级的团聚体。反复的冻融作用,使得 >5 mm、5~4 mm、4~2 mm、2~1 mm 四个较大颗粒粒径组团聚体不断经受收缩力和挤压力的作用而破碎崩解,造成水稳性团聚体质量随着冻融循环次数的增加逐渐减小<sup>[28]</sup>;而对于 1~0.5 mm、0.5~0.25 mm 两个较小颗粒粒径组团聚体,其抵抗收缩力和挤压力的能力较强,经过反复的冻融作用不易崩解破碎,其水稳性团聚体质量的增大应归咎于较大颗粒团聚体经过反复冻融作用所发生的破碎崩解<sup>[29]</sup>。因此各粒径组水稳性团聚体在不同处理水平条件下随着冻融循环次数增加而表现出不同的规律性,有的表现出逐渐降低或先降低后增加、先升高后降低的变化趋势,有的呈现出先增后减再增再减、先减后增再减再增的波纹状变化趋势。

### 2.3 冻结温度对草地土壤水稳性团聚体的影响

在实验室模拟初始含水率 10%、冻融循环 1 次

的条件下,如图 14 所示,随着冻结温度的逐渐降低,>5 mm 水稳性团聚体没有明显变化;呈现出逐渐减少趋势的是 5~4 mm、4~2 mm 两个粒径组水稳性大团聚体;2~1 mm、1~0.5 mm、0.5~0.25 mm 这三组粒级团聚体峰值都在 -15℃,但是其中 2~1 mm 粒径组水稳性大团聚体表现出先增加后减少的变化趋势,1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 两组水稳性大团聚体表现出先减少后增加的变化趋势。

由图 15 可知,在实验室模拟 20% 的初始含水率、1 次冻融循环的条件下,随着冻结温度的逐渐降低,峰值出现的冻结温度为 -15℃,并且具有先增加后降低的变化趋势的是 >5 mm、4~2 mm、2~1 mm 三组颗粒级水稳性大团聚体;而 5~4 mm 水稳性团聚体几乎保持稳定状态,1~0.5 mm 水稳性团聚体逐渐增加;相反表现出逐渐降低趋势的是 0.5~0.25 mm 粒径组。

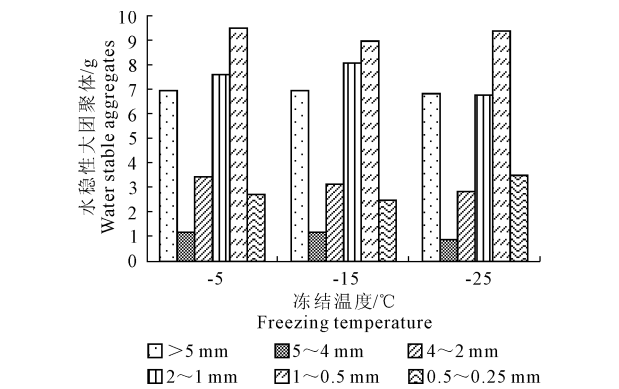


图 14 冻结温度对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FTC = 1; IMC = 10%)

Fig. 14 Effects of freezing temperature on soil water stable aggregates in grassland

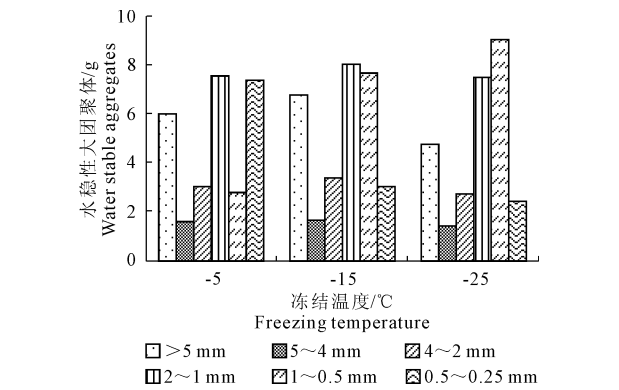


图 15 冻结温度对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FTC = 1; IMC = 20%)

Fig. 15 Effects of freezing temperature on soil water stable aggregates in grassland

图 16 是在实验室模拟初始含水率 30%、冻融循环 1 次的条件下,随着冻结温度的逐渐降低,水稳性大团聚体 > 5 mm、0.5 ~ 0.25 mm 粒径组呈现出逐渐增加的趋势;5 ~ 4 mm、4 ~ 2 mm 先增加后降低;2 ~ 1 mm 逐渐降低;1 ~ 0.5 mm 先降低后增加。

在实验室模拟初始含水率 40%、冻融循环 1 次的条件下,如图 17 所示,随着冻结温度的逐渐降低,> 5 mm 先增加后减少;5 ~ 4 mm 逐渐增加;随着冻结温度的降低而相应的呈现出先增加后降低的变化趋势的是 0.5 ~ 0.25 mm 水稳性团聚体;4 ~ 2 mm、1 ~ 0.5 mm 逐渐降低;2 ~ 1 mm 先降低后增加。

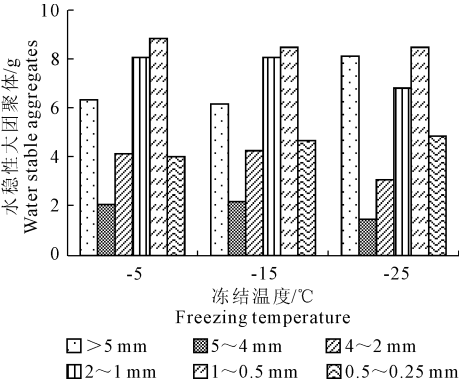


图 16 冻结温度对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FTC = 1;IMC = 30%)

Fig. 16 Effects of freezing temperature on soil water stable aggregates in grassland

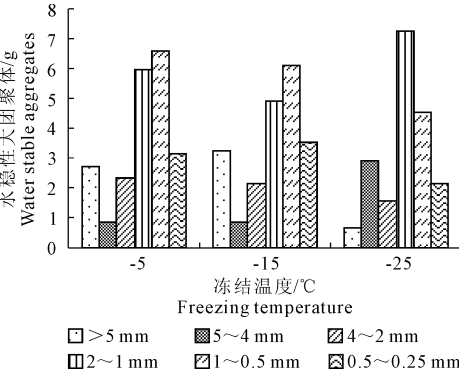


图 17 冻结温度对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FTC = 1;IMC = 40%)

Fig. 17 Effects of freezing temperature on soil water stable aggregates in grassland

由图 18 可知,随着冻结温度的逐渐降低,并且在实验室模拟 50% 的初始含水率、1 次冻融循环的条件下,呈现出先降低后增加趋势的是 5 ~ 4 mm、4 ~ 2 mm、2 ~ 1 mm、0.5 ~ 0.25 mm 四个粒径组水稳性大团聚体;表现出逐渐降低变化趋势的是 > 5 mm 的粒径组;1 ~ 0.5 mm 水稳性团聚体则随着冻结温度的降低而相应地呈现出增加的趋势。

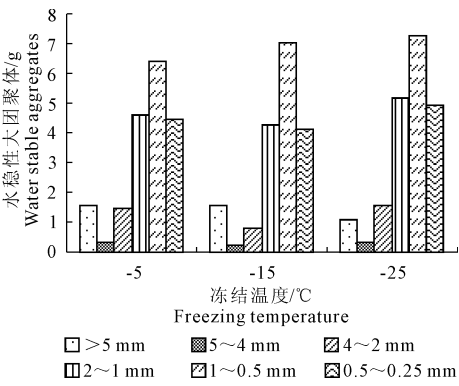


图 18 冻结温度对草地土壤水稳性大团聚体的影响 (FTC = 1;IMC = 50%)

Fig. 18 Effects of freezing temperature on soil water stable aggregates in grassland

对于草地土壤而言,> 5 mm、5 ~ 4 mm、4 ~ 2 mm、2 ~ 1 mm、1 ~ 0.5 mm 与 0.5 ~ 0.25 mm 这六个粒径组水稳性大团聚体随着冻结温度的逐渐降低而表现出不尽相同的规律性,随着冻结温度的逐渐降低,有的水稳性大团聚体呈现出的趋势是先降低后增加,有的呈现出逐渐降低趋势,有的表现出逐渐增加的趋势,而有的则是先升高后降低的变化趋势。

由于较大颗粒团聚体,比如 > 5 mm 和 5 ~ 4 mm 的内部孔隙空间要大于相对而言较小的团聚体,所以温度越是降低,团聚体内部气体收缩程度就越大,团聚体崩解破碎愈严重;而 1 ~ 0.5 mm 与 0.5 ~ 0.25 mm 水稳性团聚体升高,一方面是由于内部气体收缩引起大颗粒团聚体崩解破碎,另一方面是由于较大颗粒团聚体在冻融作用下破碎为较小颗粒团聚体;4 ~ 2 mm 与 2 ~ 1 mm 水稳性团聚体并无显著影响<sup>[31]</sup>。

3 结论与讨论

1) 初始水分含量是影响土壤水稳性大团聚体的关键因素。由图 1 到图 8 可以看出在冻融循环次数或者冻融温度一致的条件下随着土壤初始含水率的提高,> 5 mm、5 ~ 4 mm、4 ~ 2 mm、2 ~ 1 mm 四个粒径组水稳性团聚体呈现出逐渐降低、或先升高后降低的变化趋势;1 ~ 0.5 mm、0.5 ~ 0.25 mm 呈现先降低后增加、或先增加后降低再增加的趋势。分析发生这种变化的原因主要是冻结状态下土壤水相变成冰,它的体积增大,并随之增大了团聚体的破碎效应;团聚体内部气体由于封闭可看作理想气体,冻结状态下由于冷却收缩增加了团聚体的团聚效应。

2) 冻融循环次数是影响土壤水稳性大团聚体的重要因素。如图 9 到图 13,在初始含水率和冻结温度相同的前提下,随冻融循环次数的增加,各组粒

级水稳性团聚体表现出的规律性不尽相同,>1 mm 水稳性团聚体整体有降低趋势,1~0.5 mm、0.5~0.25 mm 两组粒径水稳性团聚体则整体呈现增加趋势。分析不同粒径组水稳性团聚体含量发生以上变化的原因可能是在冻融循环作用过程中,团聚体内部及不同团聚体之间分别承受着收缩力和挤压力,最终造成团聚体的破碎崩解<sup>[30]</sup>。

3) 如图 14 到图 18 可知,冻结温度是影响土壤水稳性大团聚体的另一重要因素,在初始含水率和冻融循环次数一定的条件下,随着冻结温度的降低,>5 mm 与 5~4 mm 水稳性团聚体有降低的趋势,1~0.5 mm 与 0.5~0.25 mm 水稳性团聚体有升高的趋势,4~2 mm 与 2~1 mm 两个粒级水稳性团聚体并无显著变化。经判断,很可能是团聚体内部气体收缩引起团聚体崩解破碎与较大粒级团聚体破碎为较小粒级团聚体二者共同作用而导致<sup>[31]</sup>,因此,不同粒径组水稳性大团聚体随着冻结温度的逐渐降低而表现出不尽相同的规律性。

参 考 文 献:

[1] 王  洋,刘景双,王全英,等.冻融作用对土壤团聚体及有机碳组分的影响[J].生态环境学报,2013,22(7):1269-1274.

[2] 孙  辉,秦纪洪,吴  杨,等.土壤冻融交替生态效应研究进展[J].土壤,2008,40(4):505-509.

[3] 谢锦升,杨玉盛,陈光水,等.植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响[J].生态学报,2008,28(2):703-709.

[4] 王秀颖,高晓飞,刘和平,等.土壤水稳性大团聚体测定方法综述[J].中国水土保持科学学报,2011,9(3):106-113.

[5] 袁俊吉,蒋先军,胡  宇,等.不同植被覆盖对养分在土壤水稳性团聚体中分布特征的影响[J].水土保持学报,2009,23(6):113-122.

[6] 李贵圆.冻融作用对草地土壤、棕壤水稳性大团聚体影响对比研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2012.

[7] 秦胜金,刘景双,张玉树,等.冻融对沼泽湿地土壤水稳性大团聚体的影响[J].水土保持通报,2009,9(6):116-118.

[8] 王  风,韩晓增,李良皓,等.冻融过程对黑土土壤水稳性团聚体含量影响[J].冰川冻土,2009,31(5):915-919.

[9] 史  奕,陈  欣,沈善敏,等.有机胶结形成土壤团聚体的机理及理论模型[J].应用生态学报,2002,13(11):1495-1498.

[10] 土恒松,熊康宁,刘  云,等.喀斯特地区冻融作用对土壤物理特性的影响—以王家寨羊昌洞小流域为例[J].水土保持研

究,2009,16(2):101-106.

[11] 徐  佩,何毓蓉,张保华,等.西部山区道路毁损土地的退化及其农业环境效应—毁损土地的物理性退化[J].西南农业学报,2004,17(6):746-749.

[12] 苏  静,赵世伟.植被恢复对土壤团聚体分布及有机碳、全氮含量的影响[J].水土保持研究,2005,12(3):44-46.

[13] 李小刚.甘肃景电灌区土壤团聚体特征研究[J].土壤学报,2000,37(2):262-270.

[14] 熊雪晶.季节性冻融对亚高山冷杉林土壤微生物活性的影响[D].雅安:四川农业大学,2009.

[15] 张园敏.森林重建对生态系统碳贮量、土壤团聚体组成及其碳稳定性的影响[D].南昌:南昌大学,2012:1-58.

[16] 尚  杰,耿增超,赵  军,等.生物炭对壤土水热特性及团聚体稳定性的影响[J].应用生态学报,2015,26(7):1969-1976.

[17] 史  奕,陈  欣,沈善敏,等.土壤团聚体的稳定机制及人类活动的影响[J].应用生态学报,2002,13(11):1491-1494.

[18] 陈建国,田大伦,闫文德,等.土壤团聚体固碳研究进展[J].中南林业科技大学学报:自然科学版,2011,31(5):74-80.

[19] 姜艳丽.土壤团聚体水稳性对水分运动过程影响的试验研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2013.

[20] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):416-421.

[21] 刘中良,宇万太.土壤团聚体中有机碳研究进展[J].中国生态农业学报,2011,19(2):447-455.

[22] 曹良元.土壤团聚体组成及耕作方式对微生物区系分布的影响[D].重庆:西南大学,2009.

[23] 霍  琳.长期施肥对黄土高原旱地黑垆土团聚体的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2007.

[24] 田汶艳.植茶年限对名山茶园土壤水稳性大团聚体的影响分析[D].雅安:四川农业大学,2013.

[25] 王  展.冻融对土壤镉吸附解吸特性影响机理的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2013.

[26] 王娇月,宋长春,王宪伟,等.冻融作用对土壤有机碳库及微生物的影响研究进展[J].冰川冻土,2011,33(2):443-452.

[27] 李  娜.冻融作用对吉林西部典型土壤碳氮酶的影响机制及温室气体排放研究[D].长春:吉林大学,2012.

[28] 范春梅,廖超英,孙长忠,等.黄土高原丘陵沟壑区放牧林草地团聚体水稳性的研究[J].中国农学通报,2005,21(11):400-425.

[29] 郑晓萍.表征富铁土壤侵蚀的团聚体稳定性及其物理机制研究[D].杭州:浙江大学,2002.

[30] 方丽莉,齐吉琳,马  巍,等.冻融作用对土结构性的影响及其导致的强度变化[J].冰川冻土,2012,34(2):436-440.

[31] 张建国,刘淑珍,宋述军,等.不同土地利用方式对黄土坡地土壤水稳性团聚体和总孔隙度的影响[J].山地学报,2002,20(2):119-124.