

不同年龄甘草的生长特征及土壤理化性质分析

叶丽娜^{1,2}, 吕涛^{1,2*}, 张立欣^{1,2}, 李相儒^{1,2}, 袁勤^{1,2}, 魏特^{1,2}, 刘江^{1,2}, 代香荣^{1,2}, 郝伟昌^{1,2}, 刘向阳^{1,2}, 郝亚峰^{1,2}
 (1. 亿利资源集团有限公司, 内蒙古鄂尔多斯 017418; 2. 内蒙古库布其沙漠技术研究院, 内蒙古鄂尔多斯 017418)

摘要 在2018年5、7和9月在内蒙古鄂尔多斯市杭锦旗独贵塔拉镇阿木古龙甘草示范区选取1年生、2年生、3年生和4年生甘草, 对其生长特征及理化性质进行分析。结果表明, 甘草株高、主根长度、主根直径、地上生物量和地下生物量随甘草年龄增加而不同幅度增大。3年生和4年生甘草之间主根直径和地下生物量无显著差异。土壤含水量在3年生甘草为最大, 田间持水量和土壤孔隙度在3年生和4年生甘草较大。土壤入渗速率和土壤容重在3年生和4年生甘草较低。pH、电导率、速效氮、速效磷、速效钾和有机质在3年生和4年生甘草下显著提高, 表明3年生和4年生甘草对土壤理化性质的影响比较相似。

关键词 甘草; 不同年龄; 生长特征; 土壤理化性质

中图分类号 S567.7⁺1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)11-0093-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.11.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Growth Characteristics and Physical and Chemical Properties of Soil in Different Ages Licorice

YE Li-na^{1,2}, LÜ Tao^{1,2}, ZHANG Li-xin^{1,2} et al (1. Elion Group, Ordos, Inner Mongolia 017418; 2. Inner Mongolia Kubuqi Desert Technology Research Institute, Ordos, Inner Mongolia 017418)

Abstract The demonstration area of Amugulong in Duguitala Town, Hangjin County, Ordos City, Inner Mongolia in May, July and September 2018, selected 1-year, 2-year, 3-year and 4-year licorice, analyzed their growth characteristics and physical and chemical properties. The results showed plant height, taproot length, taproot diameter, aboveground biomass and underground biomass of licorice increased with age. There was no significant difference in taproot diameter and underground biomass between 3-year and 4-year licorice. The soil water content was the largest in 3-year licorice, and the field water capacity and soil porosity were the largest in 3-year and 4-year licorice. Soil infiltration rate and soil bulk density were lower in 3-year licorice and 4-year licorice. pH, electrical conductivity, rapidly-available nitrogen, rapidly-available phosphorus, rapidly-available potassium and organic matter were significantly increased under 3-year and 4-year licorice, indicating that 3-year and 4-year licorice had similar effects on soil physical and chemical properties.

Key words Licorice; Different ages; Growth characteristics; Soil physical and chemical properties

近几十年来,随着人口增加和现代农业、工业的飞速发展,全球气候变化加剧,世界各地土地发生了不同程度的退化和沙化^[1],从而引起了广大学者的关注,不少学者开始研究了我国土地沙化退化的现状、原因、变化趋势,并通过不断摸索研究,掌握了一些荒漠化、沙化治理技术,取得了一定的成果。灌木作为沙漠地区优势种,具有防风固沙、保持水土和改良盐碱地的作用^[2-4]。钱洲^[5]研究不同恢复年限下样地植被恢复特征及土壤理化性质的变化得出,植被恢复过程中植被盖度、密度、地上生物量和地下生物量有了明显的增长,并改善了当地土壤理化性质。苗恒录^[6]研究毛乌素沙地土壤养分空间变异性揭示了土壤中的全氮、速效磷、速效钾和有机质的空间分布特征。刘陟等^[7]对毛乌素沙地油蒿生物量进行了估测模型研究。综上所述,植物对土壤理化性质产生一定的影响。

甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)属豆科,多年生草本,具有抗寒、耐热、耐旱、抗盐碱等优良特征,适应能力强,生命力旺盛,一般生长在干旱、半干旱的沙土、沙漠边缘和黄土丘陵地带。甘草的用途也十分广泛,在医药、食品、饲用和日用化工等领域均有广泛应用^[8]。近年来,在实践过程中人们发现甘

草能够把空气中的氮吸收并转移,固定到土壤中,具有荒漠、半荒漠地区保持水土、改良土壤、防风固沙的作用,因此逐渐引起学者们的关注。该研究以不同年龄甘草为研究对象,分析不同年龄甘草生长特征及对土壤理化性质的影响,从而为甘草治沙改土研究提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于内蒙古自治区鄂尔多斯市杭锦旗独贵塔拉镇境内,地理坐标为40°36'28.13"N、108°33'51.07"E。研究区属于典型的温带大陆性气候,全年平均降水量在186 mm左右,主要集中在7—8月份,降水量149 mm,占全年降水量的49%,全年平均蒸发量2 499 mm左右,月蒸发量为42 mm。日照充足,昼夜温差大,年平均气温6.3℃,7月平均气温22℃,极端最高气温38℃,最低平均气温-12℃,极端最低气温-31℃,无霜期为135 d。风向多为南、东南风,年均风速为3.2 m/s,最大风速为7.6 m/s。研究区主要植被由杨柴、花棒、柠条锦鸡儿、油蒿、白沙蒿、沙柳、沙米、沙鞭草等植物为主的沙生灌丛和半灌丛组成。该地区土壤类型为风沙土。

1.2 样地设计及数据采集 2018年在杭锦旗独贵塔拉镇阿木古龙甘草产业示范区内选取1年生、2年生、3年生和4年生人工种植甘草地进行样地设置。5、7和9月在每种年龄甘草样地随机选取3个植被调查样方(样方面积为1 m×1 m),测量甘草株高,采集地上部分测量生物量(用恒温烘箱65℃条件下烘干)。2018年9月在每个年龄甘草样地选取3

基金项目 2017年内蒙古自治区科技重大专项“沙漠地区有机农业建设模式研究与产业化示范”;国家重点研发计划项目(2016YFC0500906)。

作者简介 叶丽娜(1993—),女,蒙古族,内蒙古通辽人,硕士,从事沙化土地治理研究。*通信作者,工程师,硕士,从事沙化土地治理研究。

收稿日期 2019-11-08;修回日期 2019-11-29

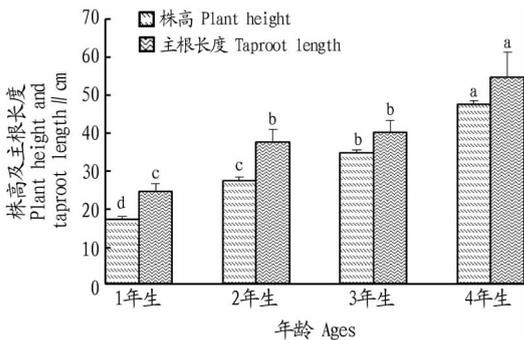
个调查样方(5 m×1 m)挖取甘草地下部分,测量主根长度、主根直径及地下部分生物量。在每个植被样方周围选取3个样点,每个样点采集0~10、10~20和20~30 cm土层的土样,每个土层为3个重复。采集的土样拿回实验室去除杂物,在平整的平台上摊成薄薄一层,置于干净整洁的室内通风处自然风干,过筛1.000和0.125 mm筛后测量土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾、pH、电导率、土壤容重、田间持水量、入渗速率、蒸发速率和含水量等指标。

1.3 土壤理化性质测定 土壤物理性质的测定采用环刀法;土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法-外加加热法;速效氮的测定采用碱解扩散法;速效磷的测定采用NaHCO₃浸提,分光光度计法;速效钾的测定采用NH₄OAc浸提,火焰光度计法。分析方法均按照《土壤农化分析》^[9]方法进行。

1.4 统计分析 采用Excel 2010软件对数据进行统计分析并绘图。利用SPSS 18.0软件对不同年龄甘草株高、地上生物量、主根长度、主根直径、地下部分生物量及不同年龄甘草土壤物理性质(土壤含水量、土壤容重、土壤孔隙度、田间持水量及入渗速率)和化学性质(pH、电导率、有机质、速效氮、速效磷、速效钾)进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),甘草主根长度及主根直径进行相关分析,显著水平为P<0.05。

2 结果与分析

2.1 不同年龄甘草生长特征 对不同年龄甘草株高及主根长度进行单因素方差分析,结果表明(图1),不同年龄间甘草株高及主根长度具有逐年增高趋势,从小到大依次均为1年生、2年生、3年生、4年生甘草。4种处理下甘草株高具有显著差异,4年生甘草株高能达到47.22 cm。4年生甘草主根长度显著高于其他3个年龄甘草主根长度(P<0.05)。2年生甘草主根长度和3年生甘草没有出现显著性差异(P>0.05)。



注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

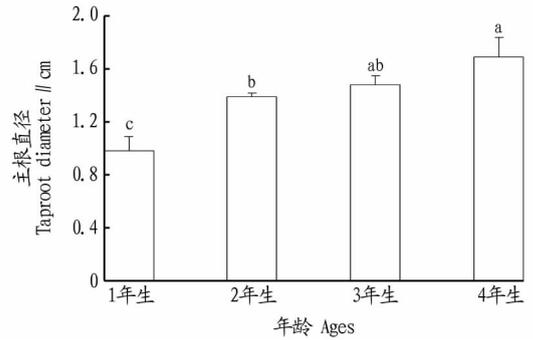
Note: Different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05)

图1 不同年龄甘草株高及主根长度变化

Fig. 1 The variation of plant height and taproot length in different ages licorice

对不同年龄甘草主根直径进行单因素方差分析,结果发现(图2),4年生甘草主根直径显著高于1年生和2年生甘草主根直径(P<0.05)。3年生甘草主根直径与2年生和

4年生甘草没有出现显著性差异(P>0.05),4个年龄甘草主根直径从小到大依次为1年生、2年生、3年生、4年生甘草。



注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05)

图2 不同年龄甘草主根直径变化

Fig. 2 The variation of licorice taproot diameter in different ages licorice

对不同年龄甘草主根长度及主根直径进行相关分析,结果发现(图3),主根长度与主根直径之间呈显著幂函数关系 $y=0.243 3x^{0.472 8}$ ($R^2=0.382 8$)。

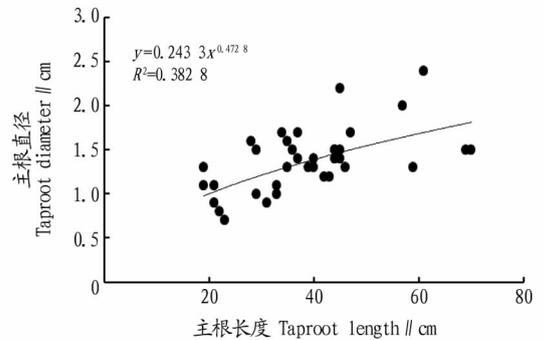
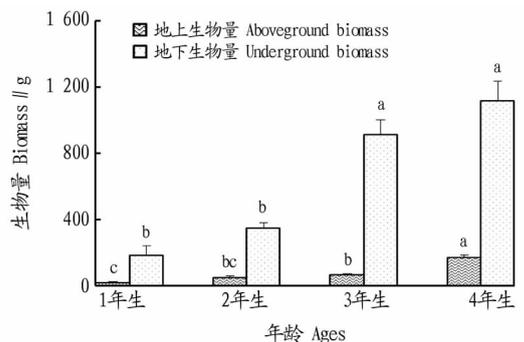


图3 主根长度及主根直径关系

Fig. 3 The relation between the taproot diameter and taproot length



注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05)

图4 不同年龄甘草地上及地下生物量变化

Fig. 4 The variation of aboveground biomass and underground biomass in different ages licorice

对不同年龄甘草地上生物量及地下生物量进行单因素

方差分析,结果发现(图4),4年生甘草地上生物量显著高于其他3个年龄甘草地上生物量($P<0.05$),地上生物量达168.36 g。3年生和4年生甘草地下生物量显著高于1年生和2年生甘草地下生物量($P<0.05$);1年生与2年生、3年生与4年生甘草地下生物量均没有出现显著性差异($P>0.05$)。4种年龄甘草地上生物量及地下生物量从小到大依次为1年生、2年生、3年生、4年生甘草,表明甘草地下部分生长到3年后缓慢增长。

2.2 不同年龄甘草土壤物理性质

2.2.1 土壤含水量。从表1可看出,土壤含水量在0~10、10~20和20~30 cm土层下均表现为3年生甘草土壤含水量显著高于1年生、2年生和4年生甘草及对照处理下土壤含水量。2年生、3年生和4年生甘草土壤含水量变化均在10~20 cm土壤含水量最高。1年生甘草土壤含水量随土层的加深而增大。

2.2.2 土壤入渗速率。在0~10 cm土层时,对照处理下土壤入渗率最高,随甘草年龄的增加而土壤平均入渗率降低,4年生甘草土壤入渗速率最低。10~20 cm土层时,土壤入渗速率从大到小依次为CK、1年生甘草、2年生甘草、4年生甘

草、3年生甘草。20~30 cm土层时,3年生甘草土壤平均入渗率显著低于CK处理,入渗速率从大到小依次为CK、1年生甘草、2年生甘草、4年生甘草、3年生甘草。

2.2.3 土壤容重。在0~10、10~20和20~30 cm土层下均表现对照处理下土壤容重最大,4年生甘草土壤容重最小,各处理下土壤容重从大到小依次为CK、1年生甘草、2年生甘草、3年生甘草、4年生甘草。

2.2.4 田间持水量。在0~10、10~20和20~30 cm土层时均表现为对照处理下田间持水量最低,随着甘草年龄的增长而增加,从大到小依次为4年生甘草、3年生甘草、2年生甘草、1年生甘草、CK。20~30 cm土层时,3年生和4年生甘草田间持水量显著高于对照处理下田间持水量。

2.2.5 土壤孔隙度。在0~10 cm土层时,3年生甘草土壤孔隙度显著高于对照处理。10~20 cm土层时,3年生和4年生甘草土壤孔隙度显著高于对照处理。20~30 cm土层时,3年生和4年生甘草土壤孔隙度显著高于1年生甘草和对照处理。在0~10、10~20和20~30 cm土层时,土壤孔隙度从大到小均依次为3年生甘草、4年生甘草、2年生甘草、1年生甘草、CK。

表1 不同处理下土壤物理性质变化

Table 1 The variation of soil physical properties in different treatments

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	含水量 Water content//%	入渗率 Infiltration rate mm/min	土壤容重 Soil bulk density g/cm ³	田间持水量 Field capacity//%	土壤孔隙度 Soil porosity %
0~10	1年生	0.69±0.24 c	7.35±0.65 a	1.59±0.02 a	22.99±0.79 a	35.76±1.18 ab
	2年生	0.67±0.35 c	7.00±0.90 a	1.56±0.02 b	23.17±0.48 a	36.16±2.90 ab
	3年生	3.12±1.68 a	6.95±1.00 a	1.55±0.02 b	23.21±2.11 a	37.76±0.32 a
	4年生	2.04±0.51 b	6.85±0.60 a	1.55±0.02 b	23.23±0.28 a	36.20±0.55 ab
	CK	0.67±0.33 c	7.48±0.31 a	1.61±0.03 a	22.10±0.63 a	35.30±0.81 b
10~20	1年生	2.09±0.61 b	7.20±0.80 a	1.58±0.02 b	21.82±1.35 a	34.90±0.65 b
	2年生	2.47±0.22 b	6.95±1.40 a	1.56±0.02 b	23.17±0.80 a	36.29±1.05 ab
	3年生	5.14±1.29 a	6.60±0.85 a	1.56±0.06 b	23.16±0.10 a	38.30±4.21 a
	4年生	2.51±0.48 b	6.90±1.00 a	1.54±0.02 b	24.58±3.52 a	37.97±0.04 a
	CK	0.45±0.05 c	7.33±0.14 a	1.63±0.01 a	19.76±6.79 a	34.45±1.91 b
20~30	1年生	2.69±0.31 b	7.17±0.23 ab	1.59±0.04 a	21.63±0.84 ab	34.03±0.85 bc
	2年生	2.34±1.84 b	7.15±0.70 ab	1.59±0.01 a	22.27±2.05 ab	35.32±2.60 ab
	3年生	4.81±1.74 a	6.10±1.25 b	1.58±0.03 a	22.57±1.58 a	38.45±0.22 a
	4年生	2.37±0.51 b	6.65±1.25 ab	1.57±0.04 a	23.71±0.21 a	36.04±2.49 ab
	CK	0.50±0.18 c	7.40±0.80 a	1.60±0.02 a	19.75±3.36 b	31.22±4.74 c

注:不同小写字母表示同一土层下不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments under the same soil layer ($P<0.05$)

2.3 不同年龄甘草土壤化学性质

2.3.1 速效氮。从表2可看出,在0~10、10~20和20~30 cm土层时均表现为3年生甘草土壤速效氮显著高于对照流动沙地,且对照流动沙地土壤速效氮含量处于最低水平,表明种植甘草可以提高土壤速效氮含量。0~10 cm土层时,不同处理下土壤速效氮含量从大到小依次为3年生甘草、4年生甘草、2年生甘草、1年生甘草、CK;10~20和20~30 cm土层时,不同处理下土壤速效氮含量从大到小依次为3年生甘草、2年生甘草、4年生甘草、1年生甘草、CK。

2.3.2 速效钾。在0~10、10~20和20~30 cm土层下土壤

速效钾含量均表现随甘草种植年龄增长而增加的趋势,3年生和4年生甘草土壤速效钾含量显著高于对照流动沙地,不同处理下土壤速效钾含量从大到小依次为4年生甘草、3年生甘草、2年生甘草、1年生甘草、CK。

2.3.3 速效磷。在0~10、10~20和20~30 cm土层下速效磷含量均表现随甘草种植年龄增长而增加的趋势;0~10 cm土层时,3年生和4年生甘草速效磷含量显著高于其他处理;10~20 cm土层时,4年生甘草速效磷含量显著高于其他处理(除3年生甘草);20~30 cm土层时,3年生、4年生甘草速效磷含量显著高于1年生甘草和对照流动沙地。3种土层下速

效磷含量从大到小均依次为4年生甘草、3年生甘草、2年生甘草、1年生甘草、CK。

2.3.4 有机质。在0~10、10~20和20~30 cm土层下有机质含量均表现随甘草种植年龄增长而增加的趋势,0~10 cm土层时,4年生甘草有机质含量显著高于CK、1年生甘草和2年生甘草,与3年生甘草有机质含量没有显著性差异;10~

20 cm土层时,4年生甘草有机质含量显著高于对照流动沙地,与其他处理没有显著性差异;20~30 cm土层时,3年生和4年生甘草有机质含量显著高于其他处理。3种土层下有机质含量从大到小均依次为4年生甘草、3年生甘草、2年生甘草、1年生甘草、CK。

表2 不同处理下土壤化学性质变化

Table 2 The variation of soil chemical properties in different treatments

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	pH	电导率 Conductivity ms/cm	速效氮 Available N mg/kg	速效钾 Available K mg/kg	速效磷 Available P mg/kg	有机质 Organic matter g/kg
0~10	1年生	7.67±0.26 c	0.03±0.00 c	24.48±4.29 ab	15.59±0.85 c	26.96±3.4 b	0.85±0.58 bc
	2年生	7.93±0.32 bc	0.04±0.01 bc	24.51±1.44 ab	20.64±6.46 c	29.28±5.76 b	0.89±0.64 bc
	3年生	8.36±0.08 ab	0.06±0.00 a	33.25±5.14 a	35.96±3.79 b	38.90±2.79 a	1.28±0.67 ab
	4年生	8.27±0.05 ab	0.06±0.00 a	28.59±1.94 ab	55.28±9.11 a	39.68±4.16 a	1.60±1.19 a
	CK	8.51±0.14 a	0.05±0.00 b	17.50±0.01 b	12.59±0.04 c	18.16±2.58 c	0.57±0.35 c
10~20	1年生	7.51±0.22 d	0.04±0.01 bc	24.47±1.43 a	19.76±4.51 c	23.88±7.12 c	1.32±0.45 ab
	2年生	7.92±0.25 c	0.03±0.00 c	25.64±4.37 a	20.17±1.27 c	28.66±2.42 bc	1.41±0.09 ab
	3年生	8.43±0.09 ab	0.06±0.00 a	28.58±2.96 a	38.78±0.90 b	35.92±5.05 ab	2.22±1.56 ab
	4年生	8.31±0.04 b	0.05±0.00 ab	24.48±3.78 a	60.92±6.82 a	42.28±4.15 a	2.80±0.69 a
	CK	8.72±0.06 a	0.06±0.00 a	13.13±0.71 b	11.82±0.07 c	22.15±4.53 c	0.91±0.47 b
20~30	1年生	7.84±0.40 b	0.10±0.09 a	22.17±2.95 b	11.93±3.76 c	32.26±1.29 b	0.79±0.39 c
	2年生	7.88±0.16 b	0.04±0.01 a	25.65±2.18 ab	26.69±8.72 bc	38.44±5.62 ab	1.74±0.92 b
	3年生	8.5±0.09 a	0.07±0.01 a	35.03±11.20 a	32.83±8.60 ab	44.55±5.33 a	2.47±1.05 a
	4年生	8.46±0.04 a	0.06±0.00 a	25.09±0.83 ab	51.15±14.32 a	46.00±0.58 a	2.66±1.30 a
	CK	8.84±0.11 a	0.07±0.00 a	18.37±0.70 b	9.76±0.06 c	29.60±7.30 b	0.74±0.02 c

注:不同小写字母表示同一土层下不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments under the same soil layer ($P<0.05$)

3 讨论

甘草的用途十分广泛,甘草根部可应用于医药、食品、日用化工等领域,茎叶可用于畜牧业中。同时发现甘草也是荒漠、半荒漠地区保持水土、改良土壤、防风固沙的重要植物^[8]。因此,甘草在沙漠地区也开始大面积种植。人工固沙灌木林的建植和发育能够增加沙面地表粗糙度,逐渐降低地表细沙粒、黏粒的吹蚀,增加土壤黏粉粒含量^[10-11],进而改变土壤容重、通气状况和保水能力,增加了土壤养分的储量^[12-13]。土壤物理性质是土壤其他性质的结构性基础,直接影响土壤的其他性质,对于土壤系统发育具有重要作用^[14]。

根据试验数据分析,甘草生长特征各指标均随甘草年龄增加而增大,但是逐年增大幅度具有差异。其中3年生和4年生甘草主根直径及地下生物量均较大,表明甘草生长到3年以后地下生物量及主根直径生长缓慢,3年生和4年生甘草差异不显著。株高、主根长度和地上生物量为4年生甘草最大。主根长度和主根直径间呈显著幂函数关系。

该研究得出不同年龄甘草不同程度地影响土壤理化性质。土壤含水量表现为3年生甘草土壤含水量显著高于1年生、2年生和4年生甘草及对照处理。土壤入渗速率在3年生和4年生甘草为较低。土壤容重在对照处理下土壤容重最大,4年生甘草土壤容重最小,3年生和4年生甘草无显著差异。田间持水量随甘草年龄增加而增大的趋势,但是4年生和3年生甘草差异不显著。土壤孔隙度在3年生和4年生甘草为较大。

植被与土壤之间存在相互作用,土壤条件对植被的生长有影响,反过来植被对土壤性质也会产生一定的影响。该研究对不同年龄甘草土壤化学性质进行分析得出,pH、电导率、速效氮、速效磷、速效钾和有机质在3年生和4年生甘草下均较大,对土壤化学性质的影响比较相似,除速效钾外其他指标在3年生和4年生甘草之间均无显著性差异。因此,3年生和4年生甘草对土壤养分的提升有很大的促进作用。

4 结论

通过对不同年龄甘草生长特征指标及土壤理化性质进行研究,得到以下主要结论:

(1)甘草株高、主根长度、主根直径、地上生物量和地下生物量随甘草年龄增加而增大,增大幅度不同。3年生和4年生甘草之间主根直径和地下生物量无显著差异。主根直径和主根长度之间呈显著的幂函数关系。

(2)土壤含水量在3年生甘草为最大,田间持水量和土壤孔隙度在3年生和4年生甘草的较大。土壤入渗速率和土壤容重在3年生和4年生甘草较低。

(3)pH、电导率、速效氮、速效磷、速效钾和有机质在3年生和4年生甘草下均较大,3年生和4年生甘草对土壤的影响比较相似。

参考文献

- [1] 刘佳,刘远妹,杜忠.中国退化沙化草地治理研究进展[J].安徽农学通报,2018,24(21):161-164.
- [2] 冯伟.毛乌素沙地东北缘土壤水分动态及深层渗漏特征[D].北京:中国林业科学研究院,2015.

力费。动力费主要为提升泵、鼓风机,提升泵平均用电负荷为 22 kW/d,鼓风机平均用电负荷为 4.4 kW/d,即春夏秋 3 季平均每天耗电 26.4 kW·h,水处理费 0.08 元/t;冬季平均每天耗电 33.3 kW·h,水处理费 0.10 元/t。与传统的生化、生态污水处理技术相比,TBO 技术占地面积小,处理水质好,运行方式灵活。从推广应用的角度考虑,TBO 技术适用于当前农村生活污水治理。

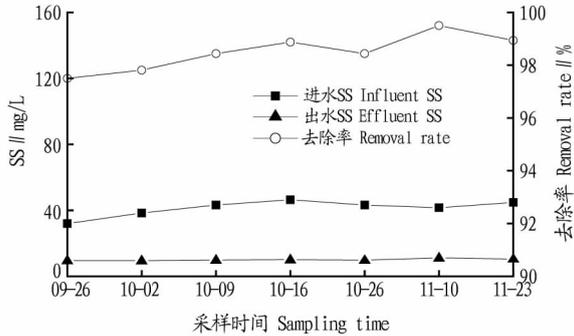


图5 TBO 系统对 SS 的去除效果

Fig. 5 SS removal efficiency of TBO system

4 结论

采用 TBO 工艺对农村生活污水进行处理,系统对 COD、NH₃-N、TP、SS 的平均去除率分别为 83.7%、90.4%、85.0%、92.6%。且处理出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)规定的一级 A 标准。

(上接第 96 页)

[3] 杨文斌,杨红艳,卢琦,等. 低覆盖度灌木群丛的水平配置格局与固沙效果的风洞试验[J]. 生态学报,2008,28(7):2998-3007.

[4] 胡良军,邵明安. 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究[J]. 应用生态学报,2002,13(8):1045-1048.

[5] 钱洲. 毛乌素沙地飞播造林植被恢复特征及土壤性质变化[D]. 南京:南京林业大学,2013.

[6] 苗恒录. 毛乌素沙地土壤养分空间变异性初步研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[7] 刘陟,黄奇,周延林,等. 毛乌素沙地油蒿生物量估测模型研究[J]. 中国草地学报,2014,36(4):24-30.

[8] 张继,姚健,丁兰,等. 甘草的利用研究进展[J]. 草原与草坪,2000(2):12-17.

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2010.

TBO 工艺的运行费用仅为 0.08 元/t,冬季 0.10 元/t。同时采用 PLC 全自动控制,无需人员值守。TBO 工艺能适应我国国情的污水处理工艺。

参考文献

[1] 王翔宇,匡武,周其胤,等. TBO+反硝化池组合工艺冬季运行效果研究[J]. 安徽农业科学,2018,46(18):62-64.

[2] 沈众,何卿,颜润,等. 生物滤池组合工艺在农村生活污水治理中的应用[J]. 安徽农业科学,2015,43(31):234-235.

[3] IEA. Energy technology analysis prospects for CO₂ capture and storage [R]. France:Paris,2004.

[4] 王永磊,李军. 我国分散式中小型污水处理技术研究及应用[J]. 水工业市场,2012(3):34-39.

[5] 谭学军,张惠锋,张辰. 农村生活污水收集与处理技术现状及进展[J]. 净水技术,2011,30(2):5-9,13.

[6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(增补版)[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.

[7] 干钢,唐毅,郝晓伟,等. 日本净化槽技术在农村生活污水治理中的应用[J]. 环境工程学报,2013,7(5):1791-1796.

[9] 陈明利,吴晓美,陈永华,等. 蛭石人工湿地中吸附-生物转化系统脱氮能力及其机理研究[J]. 环境工程学报,2009,3(2):223-228.

[10] 潘晶,张阳,孙铁珩,等. 地下渗滤基质中微生物空间分布与污水净化效果[J]. 中国环境科学,2008,28(7):656-660.

[11] 李英华,李海波,王鑫,等. 生物填料地下渗滤系统对生活污水的脱氮[J]. 环境工程学报,2013,7(9):3369-3374.

[12] 曹群,余佳荣. 农村污水处理技术综述[J]. 环境科学与管理,2009,34(3):118-121.

[13] DE VERIES J. Soil filtration of wastewater effluent and the mechanism of pore clogging[J]. Water pollute control federation,1972,44(4):565-573.

[14] 付贵萍,吴振斌,张晟,等. 构建湿地堵塞问题的研究[J]. 环境科学,2004,25(3):144-149.

[15] 郑吉宝,周其胤,彭书传. 保温生物介质氧化处理农村生活污水的应用研究进展[J]. 环境工程,2018,36(6):22-24,46.

[10] YU Y J,LIN Q G,SHI Q H,et al. Changes of habitat and vegetation in man-made vegetation area of Shapotou section along Baotou-Lanzhou railway[J]. Acta ecologica sinica,2002,22(3):433-439.

[11] TAN M L,DUAN Z H,CHEN X H. Study on soil property evolution in recovery process of moving sand land[J]. Journal of desert research,2008,28(4):685-689.

[12] JIA X H,LI X R,ZHOU Y Y,et al. Storages and distributed patterns of soil organic carbon and total nitrogen during the succession of artificial sand-binding vegetation in arid desert ecosystem[J]. Chinese journal of environmental science,2012,33(3):938-945.

[13] LI D F,SHAO M A. Soil organic carbon and influencing factors in different landscapes in an arid region of northwestern China[J]. Catena,2014,116:95-104.

[14] 张仁陟,罗珠珠,蔡立群,等. 长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤物理质量的影响[J]. 草业学报,2011,20(4):1-10.