

周 恒, 时永杰, 路 远, 等. 不同种植年限紫花苜蓿种植地土壤容重及含水量特征[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 490–494.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.140

不同种植年限紫花苜蓿种植地土壤容重及含水量特征

周 恒¹, 时永杰¹, 路 远¹, 胡 宇¹, 田福平¹, 陈 璐²

(1. 中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所/农业部兰州黄土高原生态环境重点野外科学观测试验站, 甘肃兰州 730050;

2. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃兰州 730070)

摘要:对不同种植年限(1、3、10、15年)紫花苜蓿种植地土壤容重及土壤含水量进行了研究, 结果表明: 随生长年限的增加, 相同土层不同年限之间和各年限不同土层之间的土壤容重均逐渐减小, 15年最小, 1年最高; 而各年限土壤含水量在垂直方向也随土壤深度的增加而呈减小趋势; 相同土层不同年限之间, 土壤含水量随种植年限的增加而减小。相关分析表明, 土壤容重与含水量在0.01水平上显著相关。

关键词:紫花苜蓿; 土壤容重; 土壤含水量; 利用年限; 分布特征

中图分类号: S812.29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0490-04

在陆地生态系统中, 草地面积较广, 天然和人工草地覆盖了1/5的陆地表面^[1], 在天然草地逐渐退化的情况下, 人工草地的地位日益突出, 这对气候变化及改良土壤均有较重要的意义。土壤容重与土壤质地、压实状况、土壤颗粒密度、土壤有机质含量及各种土壤管理措施有关。土壤越疏松多孔, 容重越小, 土壤越紧实, 容重越大。土壤容重对土壤的水、肥、气、热状况都有直接或间接的影响, 从而影响土壤肥力的发挥和作物的生长^[2]。土壤中水分含量多少是影响作物生长的限制性因子, 土壤水分含量又直接影响着土壤通气性。作为“牧草之王”的紫花苜蓿, 属多年生豆科牧草, 在我国已有2 000多年的人工栽培历史^[3]。紫花苜蓿不仅具有较强的生态适应性, 而且高产优质, 是畜牧业发展的主要优质饲草^[4]。研究不同种植年限紫花苜蓿地土壤容重和土壤含水量的变化, 可为合理利用紫花苜蓿、优化土壤物理结构提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

试验地位于农业部兰州黄土高原生态环境重点野外科学观测试验站, 在甘肃省兰州市七里河区彭家坪乡龚家湾村大洼山, 地处103°45'E、36°01'N, 海拔1 750 m, 属于兰州盆地黄河南岸三级阶地。年均降水量324.5 mm, 主要集中在7、8、9月, 蒸发量1 450.0 mm, 日照时数2 751.4 h; 年均温9.3℃, ≥0℃的活动积温3 700℃, ≥10℃的活动积温1 900~

2 300℃, 极端最高温39.1℃, 最低温-23.1℃。属于黄土高原半干旱丘陵沟壑区, 土壤母质为第四纪风成黄土, 土层深厚, 土壤种类主要为灰钙土。

1.2 样地选取

于2014年9月选取农业部兰州黄土高原生态环境重点野外科学观测试验站不同种植年限的紫花苜蓿地(1、3、10、15年), 供试紫花苜蓿品种为中兰1号(中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所育成种), 试验地为2000年、2005年、2012年、2014年4月种植的苜蓿地, 地力及栽培管理一致。

1.3 样品采集与处理

于2014年9月中旬在各样地内, 挖土壤剖面, 取样深度为0~150 cm, 每10 cm为1层。用环刀法测定每层土壤容重, 环刀容积100 cm³, 剖面内各取3个重复。同时, 每层土壤剖面在环刀取完样后, 在旁边取20 g左右的鲜土于已知质量的铝盒中, 取样后称鲜质量, 烘干法测定各层土壤含水量。

1.4 数据处理

所有数据均录入Excel电子表格, 数据采用SPSS 21.0软件进行统计分析。不同生长年限紫花苜蓿不同土壤深度地下容重和含水量采用单因素方差分析, LSD法0.05水平上进行多重比较。数据结果以平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限紫花苜蓿地土壤容重分析

2.1.1 不同种植年限紫花苜蓿地土壤容重变化特征 不同种植年限紫花苜蓿地土壤容重存在显著差异($P < 0.05$)。1、3、10、15年0~150 cm土壤平均容重为1.635、1.655、1.498、1.467 g/cm³。由图1可知, 1年表现为先上升后下降最后又上升的趋势, 整体数据变异系数为7.89%。最大值1.881 g/cm³出现在20~30 cm土层, 最小值1.458 g/cm³出现在70~80 cm土层。3年表现为随土壤深度的增加, 容重逐渐减小的趋势, 整体数据变异系数为6.4%。最大值1.786 g/cm³出现在50~60 cm土层, 最小值1.484 g/cm³出

收稿日期: 2015-06-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(编号: 31372368); 公益性行业(农业)科研专项(编号: 201203006); “十二五”农村领域国家科技计划(编号: 2012BAD13B07); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号: 1610322014009)。

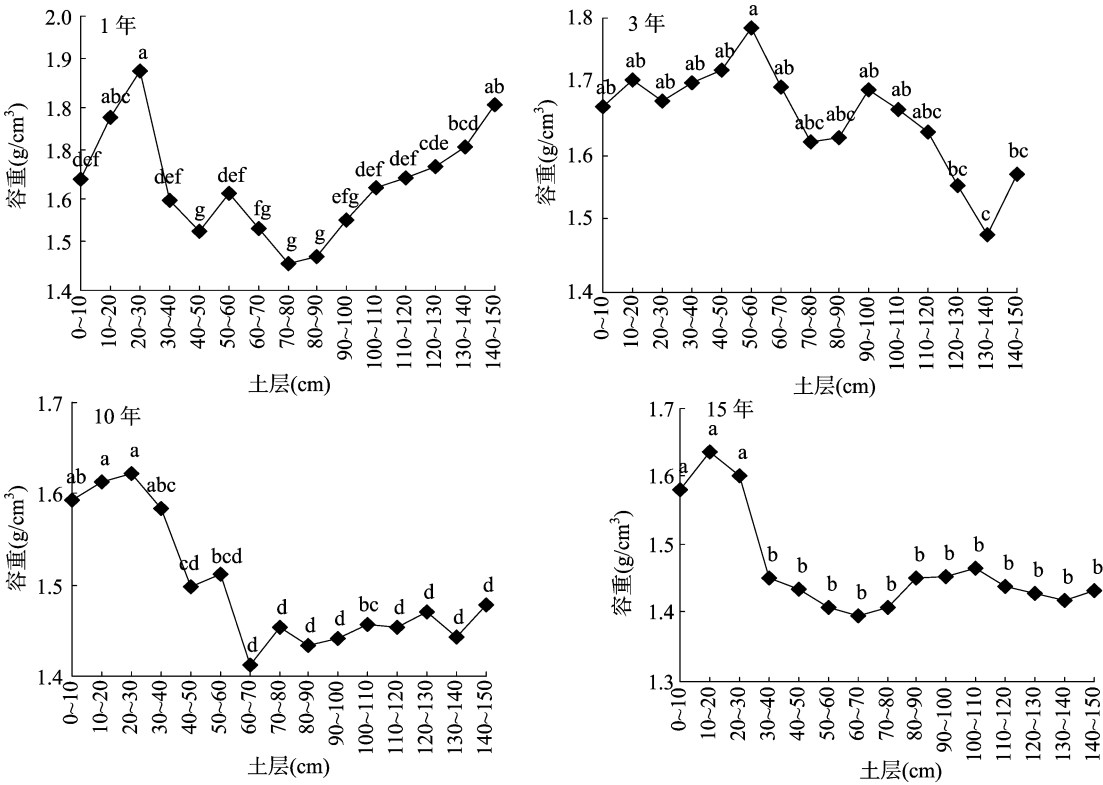
作者简介: 周 恒(1990—), 女, 四川资中人, 硕士研究生, 主要从事草地生态及牧草育种研究。E-mail: mumuzhou0127@yahoo.cn。

通信作者: 田福平, 副研究员, 主要从事草地生态与草种质资源研究。

Tel: (0931) 2115267; E-mail: tianfp@163.com。

现在 130 ~ 140 cm 土层。10 年和 15 年表现为 0 ~ 70 cm 随土层增加而容重减小,在 60 ~ 70 cm 最低,为 1.413、1.397 g/cm³,随后又逐渐上升,但总体趋势都是逐渐减小,整

体数据变异系数分别为 5.37% 和 5.86%。10 年的容重最大值 1.622 g/cm³ 出现在 20 ~ 30 cm 土层;15 年的容重最大值 1.637 g/cm³ 出现在 10 ~ 20 cm 土层。



不同字母代表不同年限紫花苜蓿地土壤容重差异显著(P<0.05)

图1 不同种植年限紫花苜蓿地土壤容重变化

2.1.2 不同种植年限紫花苜蓿地土壤容重层次特征 由表 1 可知,随着种植年限的增加,各层容重呈下降趋势,以 15 年最小。0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 土层各年份土壤容重之间无显著差异;0 ~ 10 cm 土层容重变化范围为 1.580 ~ 1.670,变异系数为 3.40%;10 ~ 20 cm 土层容重变化范围为 1.613 ~

1.779 g/cm³,变异系数为 6.34%。20 ~ 30 cm 土层容重变化范围为 1.602 ~ 1.881 g/cm³,变异系数为 7.78%,1 年土壤容重显著高于其他年份,3、10、15 年容重比 1 年降低了 10.74%、13.77%、14.83%,而 3、10、15 年土壤容重之间无差异。30 ~ 110 cm 土层土壤容重以 3 年最大,各层变异系数分

表 1 不同种植年限紫花苜蓿地土壤剖面容重

土层 (cm)	不同种植年限容重(g/cm ³)			
	1 年	3 年	10 年	15 年
0 ~ 10	1.643 ± 0.379a	1.670 ± 0.173a	1.593 ± 0.075a	1.580 ± 0.036a
10 ~ 20	1.779 ± 0.166a	1.709 ± 0.031a	1.613 ± 0.067a	1.637 ± 0.047a
20 ~ 30	1.881 ± 0.019a	1.679 ± 0.143b	1.622 ± 0.026b	1.602 ± 0.013b
30 ~ 40	1.598 ± 0.048b	1.706 ± 0.063a	1.584 ± 0.024b	1.452 ± 0.022c
40 ~ 50	1.530 ± 0.010b	1.724 ± 0.072a	1.498 ± 0.013bc	1.436 ± 0.048b
50 ~ 60	1.613 ± 0.055b	1.786 ± 0.081a	1.511 ± 0.020bc	1.408 ± 0.083c
60 ~ 70	1.535 ± 0.034b	1.700 ± 0.100a	1.413 ± 0.058bc	1.397 ± 0.058c
70 ~ 80	1.458 ± 0.01b	1.619 ± 0.099a	1.454 ± 0.028b	1.408 ± 0.025b
80 ~ 90	1.475 ± 0.028b	1.625 ± 0.033a	1.434 ± 0.103b	1.451 ± 0.009b
90 ~ 100	1.553 ± 0.060b	1.695 ± 0.107a	1.442 ± 0.036b	1.453 ± 0.047b
100 ~ 110	1.626 ± 0.080ab	1.667 ± 0.151a	1.457 ± 0.029b	1.467 ± 0.086b
110 ~ 120	1.647 ± 0.080a	1.634 ± 0.068a	1.454 ± 0.054b	1.440 ± 0.091b
120 ~ 130	1.670 ± 0.046a	1.556 ± 0.060b	1.470 ± 0.053bc	1.429 ± 0.013c
130 ~ 140	1.713 ± 0.048a	1.484 ± 0.077b	1.443 ± 0.058b	1.418 ± 0.073b
140 ~ 150	1.805 ± 0.044a	1.572 ± 0.139b	1.478 ± 0.031b	1.434 ± 0.061b
平均值	1.635 ± 0.129	1.655 ± 0.105	1.498 ± 0.080	1.467 ± 0.086

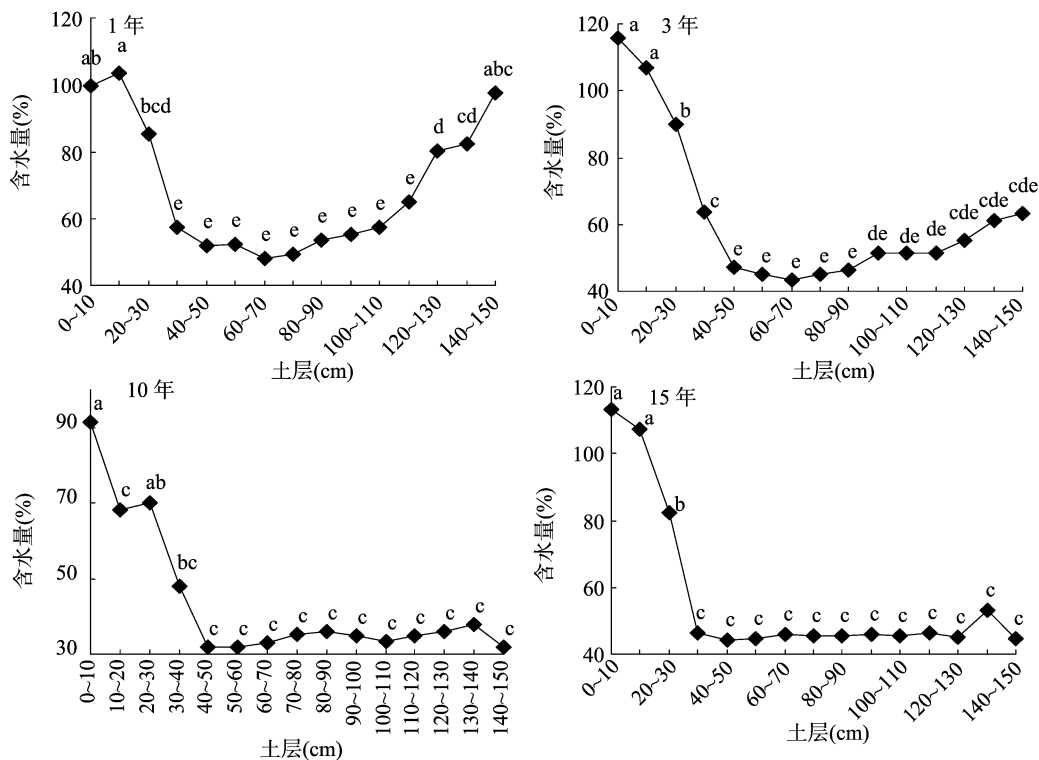
注:不同字母代表同一土层深度内不同年限紫花苜蓿地土壤容重差异显著(P < 0.05)。

别为 6.37%、7.77%、9.84%、9.16%、6.37%、6.22%、8.01%。110~150 cm 土层容重以 1 年最大,各层变异系数为 8.20%、7.62%、6.79%、8.80%、10.43%。

2.2 不同种植年限紫花苜蓿土壤含水量分析

2.2.1 不同种植年限土壤含水量变化规律

不同种植年限紫花苜蓿土壤含水量存在显著差异($P < 0.05$) (图 2)。1、3、10、15 年 0~150 cm 土壤平均含水量分别为 6.26%、6.92%、4.37%、3.71%。各年限土壤含水量垂直方向表现为:土壤含水量随土层深度的增加而呈减小趋势。具体为:1 年土壤含水量呈先下降后上升的趋势。1 年的 0~150 cm 土壤含水量在 4.80%~10.36% 之间,土壤含水量变异系数为 30.34%;



不同小写字母代表各层之间土壤含水量差异显著($P < 0.05$)

图2 不同种植年限土壤含水量

2.2.2 不同种植年限紫花苜蓿地土壤含水量层次差异分析

由表 2 可知,不同年限相同土层土壤含水量在 0~10 cm 土层无差异,其余各层含水量之间差异显著,具体表现为种植年限越短,土壤含水量越大。0~40 cm 土层 3 年土壤含水量最高,各层变异系数为 17.98%、8.08%、7.29%、39.30%;40~150 cm 土层 1 年土壤含水量最高,各层变异系数为 36.72%、36.18%、30.10%、32.22%、37.69%、40.36%、41.96%、46.36%、56.55%、53.91%、70.00%。0~20 cm 土层 10 年土壤含水量均最低,20~150 cm 土层 15 年土壤含水量最低。

2.3 不同种植年限土壤含水量与土壤容重相关性分析

土壤通气状况与土壤水分状况密切相关,由表 3 可知,除 3 年外,其余各生长年限紫花苜蓿地土壤含水量与土壤容重在 0.01 水平上显著相关,相关系数为 0.718、0.574、0.815。

3 讨论

土壤容重与土壤质地、压实状况、土壤颗粒密度、土壤有

其中 0~20 cm 土层土壤含水量显著高于 30~120 cm,而与 140~150 差异不显著。3 年土壤含水量随土层深度增加而减小,0~150 cm 土壤含水量在 4.35%~11.60%,土壤含水量变异系数为 36.97%;其中 0~20 cm 土层显著高于 20~150 cm 土层。10 年土壤含水量呈减小趋势,0~150 cm 土壤含水量在 3.18%~9.15% 之间,土壤含水量变系数为 47.38%;0~10 cm 土层土壤含水量显著高于其他各层,40~150 cm 各层土壤含水量差异不显著。15 年的 0~150 cm 土壤含水量在 2.42%~9.33% 之间,变异系数为 63.15%;0~20 cm 土层土壤含水量显著高于其他各层,30~150 cm 土层各层土壤含水量差异不显著。

机质含量及各种土壤管理措施有关。对不同生长年限紫花苜蓿土壤容重的分析表明,随生长时间增长,不同种植年限紫花苜蓿地土壤容重垂直分布格局及其在同一土层内的分布表现出差异性。随种植年限的增加,不同年限紫花苜蓿地土壤容重降低,这与杨玉海等的研究结果^[5]部分相似,且底层低于表层,这与杨玉海等的结论^[5]不相符。本研究中,以 15 年紫花苜蓿土壤容重最低,种植 3 年、10 年、15 年与 1 年相比,土壤容重均有所降低,这表明种植紫花苜蓿时间越长,对降低土壤容重的作用越大;同时年限越长,土壤容重变异越小,表明随着苜蓿的生长,对土壤容重的影响作用逐渐降低。有研究报道,土壤容重过高,会限制根系生长,减慢其伸长速度^[6],而 1 年紫花苜蓿根系获取养分等的能力还比较弱,对土壤的穿透作用还比较弱,对土壤的影响较小,因而具有较高的土壤容重。在相同土层不同年限紫花苜蓿土壤容重之间表现不同。在 0~20 cm 土层之间各年限容重无显著差异。各年限表层土壤容重变异小于深层土壤,这表明种植苜蓿对深层土

表 2 不同种植年限紫花苜蓿地土壤剖面土壤含水量

土层 (cm)	不同种植年限土壤含水量(%)			
	1 年	3 年	10 年	15 年
0 ~ 10	9.979 ± 0.725a	11.598 ± 0.449a	9.150 ± 0.666a	9.932 ± 0.624a
10 ~ 20	10.363 ± 0.561a	10.696 ± 0.925b	6.834 ± 4.347b	8.744 ± 0.320b
20 ~ 30	8.531 ± 1.002a	8.993 ± 0.345ab	7.007 ± 1.292ab	6.229 ± 0.280c
30 ~ 40	5.748 ± 0.487a	6.384 ± 1.016ab	4.786 ± 1.295ab	2.634 ± 0.319c
40 ~ 50	5.188 ± 0.339a	4.738 ± 0.635b	3.181 ± 0.213b	2.419 ± 0.118b
50 ~ 60	5.207 ± 0.207a	4.497 ± 0.656b	3.187 ± 0.117b	2.477 ± 0.207b
60 ~ 70	4.800 ± 0.188a	4.349 ± 0.682b	3.318 ± 0.096b	2.597 ± 0.294b
70 ~ 80	4.920 ± 0.374a	4.509 ± 0.518b	3.508 ± 0.106b	2.561 ± 0.291b
80 ~ 90	5.348 ± 1.165a	4.640 ± 0.735b	3.583 ± 0.096b	2.556 ± 0.182b
90 ~ 100	5.540 ± 1.230a	5.159 ± 0.439b	3.502 ± 0.152b	2.586 ± 0.294b
100 ~ 110	5.725 ± 1.256a	5.160 ± 0.622b	3.337 ± 0.339b	2.541 ± 0.227b
110 ~ 120	6.492 ± 1.504a	5.160 ± 0.627b	3.494 ± 0.251b	2.644 ± 0.228b
120 ~ 130	8.006 ± 1.022a	5.533 ± 0.377b	3.606 ± 0.253b	2.518 ± 0.206b
130 ~ 140	8.248 ± 1.353a	6.107 ± 0.394b	3.784 ± 0.525b	3.311 ± 1.374b
140 ~ 150	9.755 ± 0.466a	6.313 ± 0.420b	3.203 ± 1.218b	2.477 ± 0.260b
平均值	6.256 ± 2.313	6.923 ± 2.101	4.365 ± 2.068	3.708 ± 2.341

注:不同字母代表同一土层深度内不同年限紫花苜蓿地土壤含水量差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同生长年限紫花苜蓿土壤容重与土壤含水量相关分析

种植年限 (年)	<i>r</i>	<i>P</i> 值
1	0.718 **	0.000
3	0.075	0.624
10	0.574 **	0.000
15	0.815 **	0.000

注:** 表示土壤容重与土壤含水量在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

壤容重影响较大。

作物耗水是引起土壤水分变化的主要因素^[7],本研究中,随年限的增加,不同生长年限相同土层土壤含水量越低,且表层土壤含水量比深层土壤含水量变异小,这可能是由于表层土壤能够通过降雨或灌溉等途径获得水分补充,而深层土壤由于水分在土壤中的渗透速率的不同,加上试验地所处地区的气候条件等因素,导致水分得不到补充,因而变化较大。而同一年限不同土层随深度增加土壤含水量逐渐减少,这与杜世平等^[8]、金凤霞等^[9]的研究结果相似。这可能是由于随着紫花苜蓿生长年限的增加,根系向土壤深层生长,对深层土壤水分利用增加,当根系生长水分不足时,就会使得更深层土壤水分上移,供根系生长利用,这就导致了随种植年限的增加,土壤深层含水量较低^[10-11],出现土壤干层。

土壤容重和土壤含水量的相关分析表明,除 3 年紫花苜蓿地外,1 年、10 年、15 年紫花苜蓿土壤容重与含水量在 0.01 水平上显著相关,这可能是因为 1 年处于生长初期,需要大量水分,而良好的土壤结构有利于根系的生长,而 10 年和 15 年处于生长衰退期,加上前期对土壤水分的消耗,导致土壤含水量较低,因而需要更多的水分来维持生长,而好的土壤孔隙结构对保持水分有重要作用。3 年处于旺盛生长时期,固氮固碳能力增强,对改善土壤肥力及物理结构效果比较明显,水分状况比较理想。

王志强等的研究表明,紫花苜蓿草地生长超过 10 年,翻耕

后种植其他作物,即使是 12 年后,也不能满足林木和多年生豆科牧草的水分需要,只能种植 1 年生农作物^[12]。虽然随着种植年限的增加,土壤容重减小,但综合考虑经济因素、生态因素,紫花苜蓿草地种植最好不要超过 10 年^[3],应及时翻耕。

4 结论

通过对不同生长年限紫花苜蓿地土壤容重及含水量的分析,可以得到如下结论:随着生长年限的增加,各年限紫花苜蓿地土壤容重随土层深度的增加而呈现不同的变化特征,1 年紫花苜蓿地容重呈先上升后下降最后又上升的趋势,而含水量则是先下降后上升,3 年、10 年、15 年紫花苜蓿地表现为随土壤深度的增加,容重和含水量都呈逐渐减小趋势。容重的变异系数随年限的增加而减小,而含水量的变异系数则相反,说明生长年限越长,降低土壤容重效果越明显,而水分消耗也越严重。

相同土层不同生长年限紫花苜蓿地土壤容重与含水量不同。随着种植年限的增加,土壤容重及含水量降低,且表层变异小于深层。这是由于生长年限越长,紫花苜蓿根系对土壤的作用越强,使水分消耗越严重。

不同生长年限土壤容重及含水量具有相关性,但还需对其他因素进行相关分析,以便全面评价种植紫花苜蓿对土壤理化性质的改良作用。

参考文献:

[1] 曹丽花,刘合满,赵世伟. 当雄草原不同退化草甸土壤含水量及容重分布特征[J]. 草地学报,2011,19(5):746-751.
[2] 刘晚苟,山 仑,邓西平. 干湿条件下土壤容重对玉米根系导水率的影响[J]. 土壤学报,2003,40(5):779-782.
[3] Wang W D. The practical role of grass and grain rotation[J]. Pratacult Sci China,1988,5(2):1-3.
[4] 刘沛松,李 军,贾志宽,等. 宁南旱区苜蓿草地土壤水分消耗规律及粮草轮作土壤水分恢复效应研究[J]. 中国农学通报,2005,

杨迪,贾晋炜,肖洒,等. 添加玉米秆对生活垃圾热解产物特性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):494-497.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.141

添加玉米秆对生活垃圾热解产物特性的影响

杨迪^{1,2}, 贾晋炜¹, 肖洒¹, 鲁明元¹, 史晨雪¹, 陆泓波¹, 徐子琪³, 解强¹, 舒新前¹

[1. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083;2. 山西省太原市市容环境卫生科学研究所,山西太原 030002;
3. 北京化工大学化学工程学院,北京 100029]

摘要:采用热重分析仪、固定床反应器、气相色谱仪及红外分析仪对生活垃圾、玉米秆及其共热解特性进行分析,并探讨添加玉米秆对生活垃圾热解液气体产物特性的影响。结果表明:添加玉米秆与生活垃圾混合热解过程可分为脱水、热解、炭化、焦催化气化 4 个阶段,玉米秆与生活垃圾混合物热解的实际活化能为 28.49 kJ/mol,低于玉米秆(32.35 kJ/mol)、生活垃圾(50.60 kJ/mol)单独热解活化能,可见混合热解利于热解反应进行;添加玉米秆与生活垃圾混合热解,使固液产物产率降低,有利于提高气体产物产率;添加 40% 玉米秆与垃圾混合热解过程中,在 800 ~ 900 ℃,气体产物中 H₂、CH₄ 产量比其单独热解提高;液体产物中芳香烃、烯烃、醛类、酮类等有机物含量增加,羧酸、酯类、醚类等有机物含量降低。

关键词:生活垃圾;玉米秆;共热解;产物特性

中图分类号: X799.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0494-04

我国城市生活垃圾(MSW)近年来增长迅速,这些垃圾主要是家庭和商业废弃物,如不恰当处理会造成较大的环境污染。热解是一种有效处理城市生活垃圾的方法,而且垃圾热解过程中可生成气、液等能源及化学产品。

生活垃圾单独热解已有较多研究^[1-8],生活垃圾热解可生产燃料和化学品,但是由于生活垃圾的灰分含量较高、氢碳比及热值较低,因此热解中液气产物的产率较低。在生活垃圾热解中添加灰分较低、氢碳比及热值较高的农业秸秆是一种可行的方法。另一方面,我国农林废弃物丰富,每年产生约 7 × 10⁹ t^[9]的废弃物。大部分秸秆废弃或直接焚烧,这不仅造成资源浪费,而且污染了周围环境。

生活垃圾热解中添加农业秸秆可以提升垃圾热解产物的品质,减轻生活垃圾堆积和农业秸秆燃烧造成的污染。Ren 等利用 TG-FTIR 研究生活垃圾和棉秆共热解过程中热解特性,结果表明:添加棉秆比例提高,热解过程中混合物总失质量增大^[10]。然而,生活垃圾和农业秸秆共热解的研究仍然较少,需要深入的研究。

本研究以生活垃圾、玉米秆(CS)为研究对象,对生活垃圾、玉米秆及其共热解特性进行分析,并探讨添加玉米秆对生活垃圾热解液气体产物特性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验中所用生活垃圾由北京市某城市固废分选转运站提供,玉米秆采自北京市大兴区农村。生活垃圾经手选除去无机成分,剩余有机物料经自然风干后,用高速旋转式粉碎机粉碎成平均粒径为 1 ~ 2 mm 的垃圾样品。玉米秆则直接粉碎成平均粒径为 1 ~ 2 mm 的试验样品。试验前,所有样品均在 105 ℃干燥 4 h。生活垃圾和玉米秆的工业分析、元素分析结果见表 1。

表 1 生活垃圾、玉米秆的基础性质

工业分析	类别	含量(%)				热值 (MJ/kg)
		挥发分	固定碳	灰分	水分	
	生活垃圾	63.75	7.31	25.14	3.80	9.34
	玉米秆	77.77	9.41	6.03	6.79	15.40
元素分析	类别	含量(%)				
		碳	氢	氮	硫	氧
	生活垃圾	25.10	2.78	1.90	0.38	46.99
	玉米秆	42.96	5.81	2.00	0.22	34.47

收稿日期:2015-11-03

基金项目:山西省科技攻关项目(编号:20130313008-1)。

作者简介:杨迪(1968—),女,辽宁沈阳人,博士,高级工程师,主要从事固体废弃物资源化研究。E-mail:yangdilw@126.com。

21(9):270-274.

[5] 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.

[6] Bengough A G, Young I M. Root elongation of seedling peas through layered soil of different penetration resistances[J]. Plant and Soil, 1993, 149(1):129-139.

[7] 吴金水,郭胜利,党廷辉. 半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J]. 生态学报,2003,23(10):2040-2049.

[8] 杜世平,王留芳,龙明秀. 宁南山区旱地紫花苜蓿土壤水分及产

量动态研究[J]. 草业科学,1999,16(1):12-15,17.

[9] 金凤霞,麻冬梅,刘昊焱,等. 不同种植年限苜蓿地土壤环境效应的研究[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(2):73-77.

[10] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报,2001,16(5):427-432.

[11] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报,2002,39(3):404-411.

[12] 王志强,刘宝元,路炳军. 黄土高原半干旱区土壤干层水分恢复研究[J]. 生态学报,2003,23(9):1944-1950.