

断根对紫花苜蓿产量及根系形态的影响

毛小涛^{1,2*},任立飞³,白文明³,张文浩³

(1. 上饶师范学院生命科学学院,江西 上饶 334001;2. 上饶农业技术创新研究院,江西 上饶 334001;3. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室,北京 100093)

摘要:【目的】解决紫花苜蓿(*Medicago sativa*)种植3~5年后,产量和品质下降的问题,延长紫花苜蓿利用年限。【方法】对种植4年的紫花苜蓿进行20~25 cm土层断根处理,研究断根后其产量、根系及土壤的变化。【结果】1) 断根处理当年的紫花苜蓿株高增加18%,分枝数增加了20个/株,草产量增加了33.8%;2) 断根处理使0~30 cm土层紫花苜蓿根生物量增加了54.5%,根长增加了8%,根表面积增加了24.6%,根体积增加了79.4%;3) 断根处理降低了0~20 cm土层土壤容重和0~30 cm土层土壤紧实度($P<0.05$)。【结论】断根技术可用于内蒙古中东部及东北种植多年的紫花苜蓿田,是这些区域维持紫花苜蓿高产、延长紫花苜蓿利用年限的一种有效方法。

关键词:紫花苜蓿;断根;产量;根系形态

中图分类号:S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)01-0115-07

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.01.015



紫花苜蓿(*Medicago sativa*)具有产草量高、品质好、利用年限长等特性,被誉为“牧草之王”^[1]。紫花苜蓿利用年限20年以上,但其高产时期为种植后3~5年,从第5年开始紫花苜蓿产量和养分累积呈下降趋势^[2-5]。紫花苜蓿在种植第5年产量和品质下降的主要原因是根系老化、土壤紧实、水分亏欠和有机质含量下降等^[6-7]。在种植5~6年后,为保持紫花苜蓿高产,降低生产成本,高效利用土地资源,采取有效措施势在必行。在苗木培养实践中,经常采用断根技术抑制根系顶端优势,促进侧根和须根发生,促进苗木生长^[8]。在天然草地改良中,切割羊草根茎可提高土壤透气与贮水能力,增加退化羊草草地土壤有机质,并促进羊草复壮与繁殖,增加羊草盖度,保持羊草高产^[9-12]。侯扶琴^[16]研究表明切根提高紫花苜蓿分枝

密度和高度,并且切根后1,2和3年产量较对照分别提高14.4%、29.5%和26.7%。切根能够提高紫花苜蓿水分利用效率,增加紫花苜蓿产量^[13];另外,根系形态特征与养分吸收、草产量直接相关,以往研究主要关注切根对紫花苜蓿株高、水分吸收及叶片保护酶活性的影响,而切根后紫花苜蓿根系形态的变化很少报道^[14]。因此,为了解决种植多年后紫花苜蓿减产的问题,笔者在内蒙古农牧交错带种植多年的紫花苜蓿田进行了提高紫花苜蓿产量和品质的断根试验,探究断根技术对紫花苜蓿产量及根系形态的影响,为延长紫花苜蓿利用年限提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于内蒙古自治区多伦县中科院植物研究所多伦恢复生态学试验站试验示范基地,属大陆性气候,年均降水量为380 mm,主要集中在6~8月,年平均气温1.6℃,≥10℃积年温1 600~1 800℃,年均日照时数为3 143 h,年均无霜期100 d,年均蒸发量1 714 mm。土壤为风沙土,有机质13.00 g/kg,有效氮11.03 mg/kg,速效磷4.23 mg/kg,速效钾74.07 mg/kg,土壤pH值6.9。

收稿日期:2022-03-04;修回日期:2022-04-19

基金项目:江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ180871);
博士启动经费(6002018012)

作者简介:毛小涛(1983-),男,河南省洛宁县人,博士,讲师,主要从事牧草栽培、育种研究。

E-mail:mxt0422@163.com

*通信作者。E-mail:mxt0422@163.com

1.2 试验设计

试验品种为草原3号紫花苜蓿。

试验田于2011年条播,播量为 22.5 kg/hm^2 ,行距20 cm。试验设置对照和断根两个处理,每个处理设置 $20 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 小区3个,2015年4月使用SX-MD16E-2旋耕机进行断根处理,断根深度20~25 cm,处理和对照不灌溉、不施肥,定期人工除杂草。于2015年8月和2016年8月连续2年取样测定紫花苜蓿草产量、分枝数、根系形态及土壤特性。

1.3 试验方法

2016年8月3日,测定试验小区土壤容重及含水量;8月10日测定试验小区紫花苜蓿株高、分枝数和草产量。同时挖取紫花苜蓿根系测定根长、根表面积、根体积、根重、比根长、比表面积等。

土壤容重及含水量测定:采用剖面法进行测定。每个小区随机挖30 cm剖面,每10 cm土层用 100 cm^3 环刀压取土柱,烘干后称环刀内土柱干重,每个小区3次重复。在环刀周围取土测土壤含水量。(土壤容重 $(\text{g/cm}^3) = \text{环刀内干土重} / \text{环刀容积}$)

株高、分枝数及草产量测定:每个小区随机选取10株紫花苜蓿测量高度^[14];每小区随机选取10株紫花苜蓿计数每株分枝数;测产样方面积 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,4次重复,留茬5 cm,刈割后称量,计算鲜草产量;鲜草在 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 时杀青30 min, $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘48 h后称重,计算干草产量。

根系特征指标测定:每小区选取6株紫花苜蓿,在紫花苜蓿植株周围 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 范围向下挖取30 cm,每10 cm分别装袋,冲洗干净,用EPSON Perfection V800扫描仪进行分级扫描,扫描图片用WinRHIZO/WinFOLIA分析系统测定根长、根表面积、根体积。扫描根系烘干后测定根重。(比根长 $(\text{cm/g}) = \text{根长} / \text{根重}$,比表面积 $(\text{cm}^2/\text{g}) = \text{根表面积} / \text{根重}$)

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2010进行试验数据处理,用SPSS 16.0统计软件进行单因素方差分析,以 $P < 0.05$ 为显著性标准,用GraphPad Prism5作图。

2 结果与分析

2.1 断根对紫花苜蓿株高、分枝数、产量的影响

断根处理后,2015年、2016年测定了紫花苜蓿株

高、分枝数、鲜草产量、干草产量,与对照相比显著增加($P < 0.05$) (图1)。其中,2015年和2016年紫花苜蓿株高与对照相比分别高出21.5%和29%,2016年株高相比2015年高出12.7% (图1-A)。断根还显著增加了紫花苜蓿的分枝数,2015年和2016年与对照相比分别增加了176.2%和100% (图1-B)。断根后两年鲜草产量和干草产量都显著高于对照,鲜草产量分别高于对照87%和160.4%,干草产量分别高于对照49.1%和201.6% (图1-C、图1-D)。

2.2 断根对紫花苜蓿根系形态的影响

断根处理后0~30 cm各土层紫花苜蓿根长与对照相比没有显著变化 (图2-A);断根处理显著增加了0~10和10~20 cm土层紫花苜蓿根生物量($P < 0.05$),分别比对照增加了43.8%和219.3% (图2-B);断根处理还增加了根表面积,其中10~20 cm土层显著增加($P < 0.05$) (图2-C);断根处理后0~10、10~20 cm土层根系体积显著增加($P < 0.05$),分别增加了369.9%和86.3%,断根处理根体积逐层递减,对照根体积逐渐增加,0~10 cm根体积最大,与其他土层的根体积差异显著($P < 0.05$) (图2-D)。

断根处理与对照相比不同级根长没有显著变化 (图3-A);断根显著增加了二级根和三级根的生物量($P < 0.05$),其中二级根生物量超过了三级根生物量 (图3-B);同时,断根显著增加了二级根的表面积($P < 0.05$),不同级根表面积呈下降趋势 (图3-C);断根处理显著增加了二级根和三级根的根体积($P < 0.05$) (图3-D)。

断根处理与对照相比显著增加了0~30 cm土层一级根的比表面积和比根长($P < 0.05$),各层一级根比表面积分别增加了63.1%、42.8%和31.4%,比根长分别增加了68.7%、53.3%和45.4% (图4-A、图4-C);断根处理显著增加了20~30 cm土层二级根的比表面积和比根长($P < 0.05$),分别增加了30.7%和37.8%,0~20 cm土层二级根的比表面积和比根长增加不显著 (图4-B、图4-D);另外,断根处理对0~30 cm土层三级根比表面积和比根长没有显著影响,但是随着土层深度增加比表面积和比根长呈增加趋势 (图4-C、图4-F)。

2.3 断根对土壤含水量和土壤容重的影响

对照土壤0~30 cm土层含水量呈增加趋势,其中

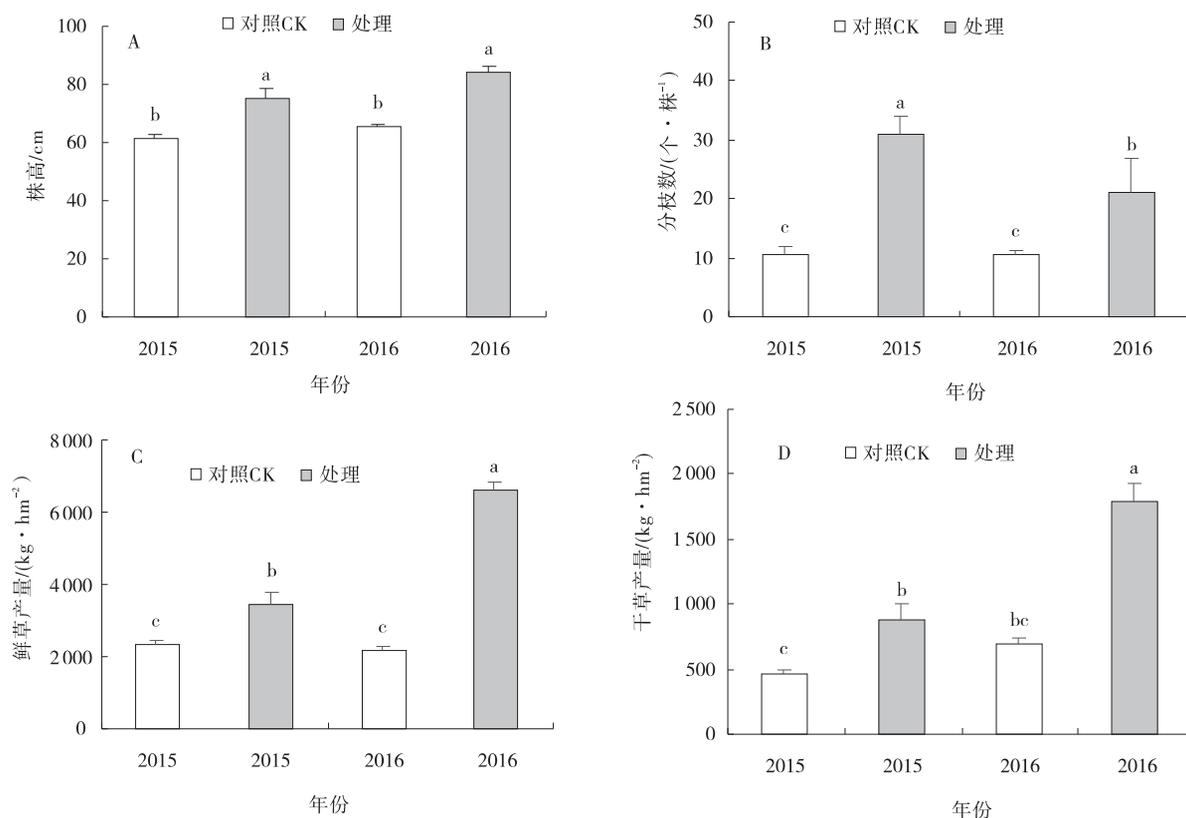


图 1 断根处理下紫花苜蓿的株高、分枝数、鲜重及干重

Fig 1 Effect of tilling on height, branches number, fresh yield and hay yield of alfalfa

注:图中不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同

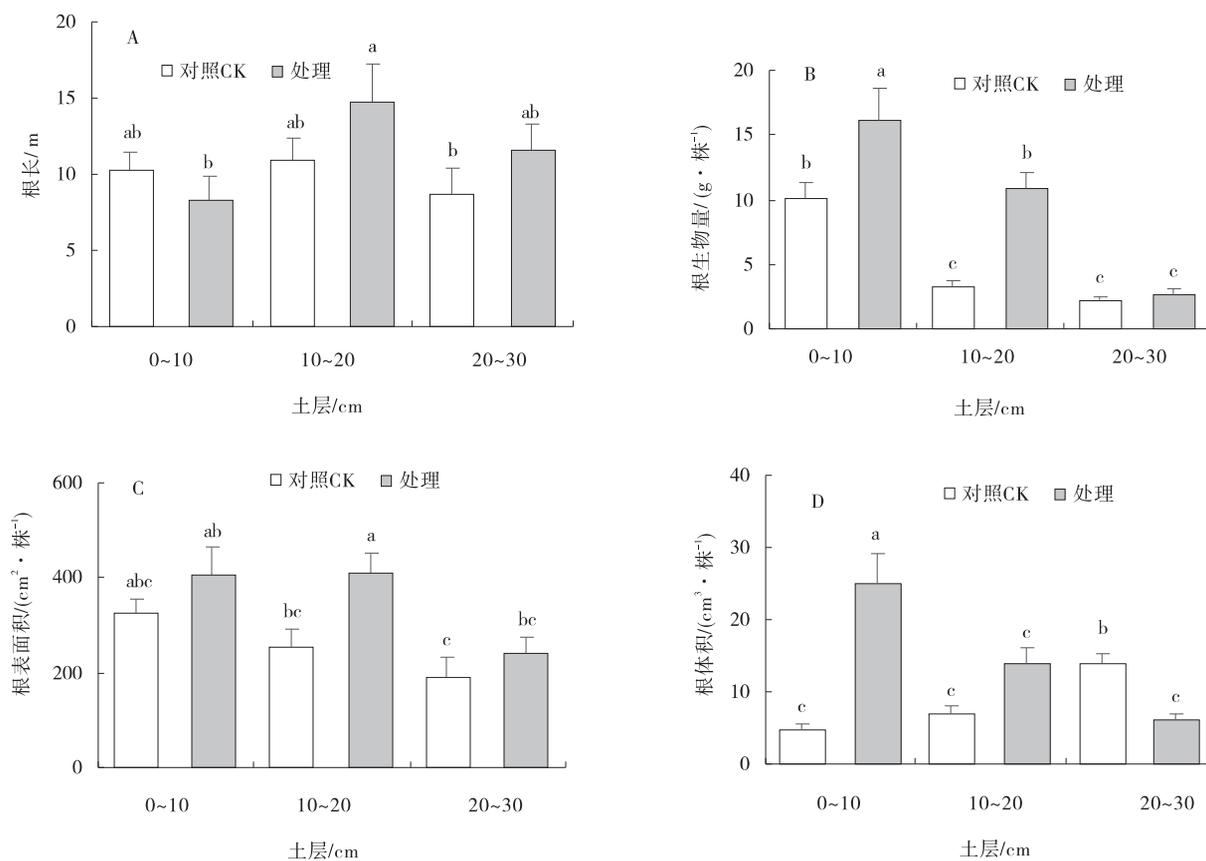


图 2 断根处理下不同土层紫花苜蓿的根长、根生物量、根表面积、根体积

Fig 2 Effect of tilling on root length, root biomass, root surfarea and root volume in 0~30 cm soil layer

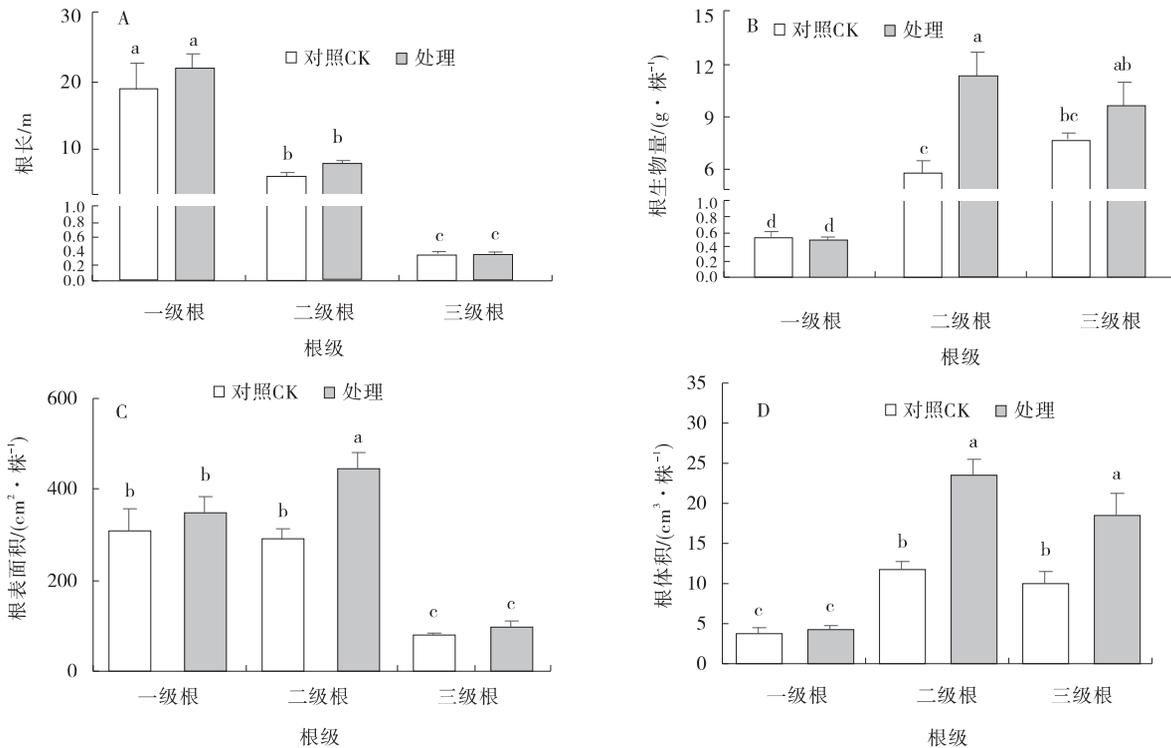


图3 断根处理下不同级别的根长、根生物量、根表面积、根体积

Fig. 3 Effect of tilling on root length, root biomass, root surface area and root volume in different root level

0~10 cm 土层土壤含水量最低;断根处理后0~30 cm 土层土壤含水量无显著变化,和0~10 cm 土层保持一致(图5-A)。对照土壤0~30 cm 土层土壤容重变化不明显;断根处理后0~10 cm 和10~20 cm 土层土壤容重显著低于对照土壤容重,与对照相比分别下降了6.2%和4.8%,20~30 cm 土壤容重没有显著变化(图5-B)。

3 讨论

紫花苜蓿作为多年生牧草,产草高峰出现在种植后3~5年,随种植年限的增加,紫花苜蓿根生物量和根体积增幅逐年减小,根系活力下降,对水分和养分的吸收能力减弱,体内养分累积量不断下降,草产量逐年降低^[5,15-17];并且土壤变得紧实,容重增大,导水率降低,影响紫花苜蓿根系的生产性和持久性。因此,需要对种植多年的紫花苜蓿进行复壮更新来满足生产需求。断根作为一种提高产量,促进根系更新的方式,已有许多应用主面的报道。断根能够扩大小麦根系吸收面积,促进根系生长,有利于次生根系发生和土壤表层水利用^[18-19]。断根在树木、羊草等生产中也有应用^[8,12]。然而利用断根增加紫花苜蓿产量,实现紫花苜蓿复壮更新的研究报道较少,研究主要集中在

在对处理紫花苜蓿根系、水分利用等方面。如断根会对处理当年的紫花苜蓿生长抑制,抑制程度浅层处理大于深层处理^[14];断根能够提高紫花苜蓿水分利用效率及叶片氧化酶活性^[13]。也有研究发现断根能增加紫花苜蓿分枝高度,提高紫花苜蓿产量^[6]。在本研究中,断根处理后紫花苜蓿株高、分枝数、草产量都有显著增加,表明断根技术对提高种植多年紫花苜蓿的产量效果显著。

为了解断根增加紫花苜蓿产量的深层原因,本研究从断根对土壤状况和紫花苜蓿根系两个方面进行探讨。土壤紧实度是影响作物产量的重要因素之一,土壤紧实会限制根系入土深度,对水分吸收和后期生长不利,并降低根系密度和草产量^[20-21]。紧实土壤降低紫花苜蓿根系长度,限制根系发育,导致紫花苜蓿草产量下降^[22-23]。中耕深松能打破犁底层,降低表层土壤容重和根系下扎阻力,改善根系生长环境,提高大豆和玉米产量^[24]。紫花苜蓿根系主要分布在0~30 cm 土层,该土层根系占总根系的60%~90%,该层土壤紧实对紫花苜蓿根系发生有极大的限制作用^[25-26]。本研究表明断根改变紫花苜蓿地土壤结构,增加了0~30 cm 土层土壤含水量,降低了0~20 cm 土层土壤容重,降低了土壤紧实度,有利于促进紫花苜蓿草产

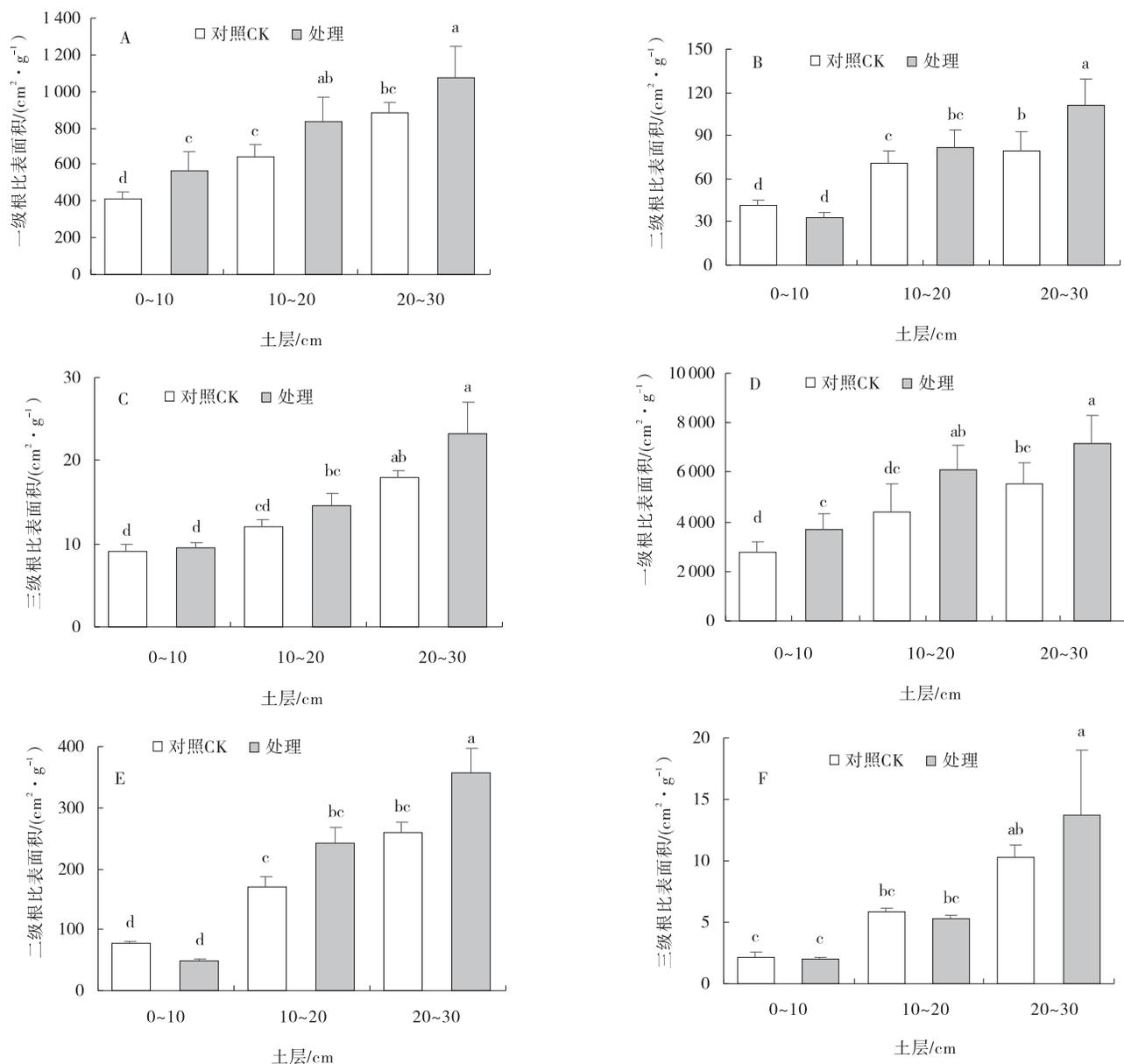


图 4 断根处理下不同土层不同级别的比根长、比表面积

Fig. 4 Effect of tilling on specific root length, specific root surfarea in 0~30 cm soil layer

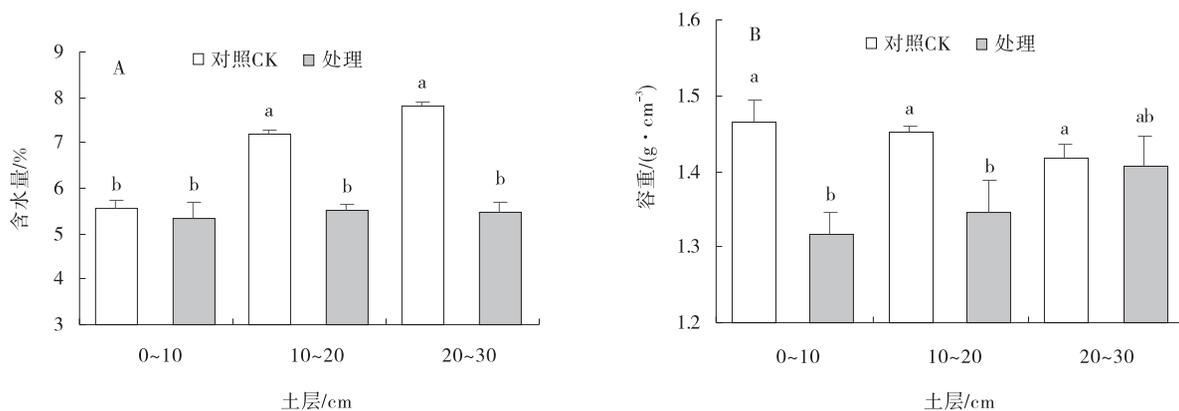


图 5 断根处理下不同土层土壤含水量和土壤容重

Fig. 5 Effect of tilling on soil water content and soil volume weight in 0~30 cm soil layer

量增加。植物根系的形态影响养分的吸收,尤其是根长、根表面积、根体积等的增加,有利于对氮、磷的吸收,从而增加其生物量^[27-28]。本研究表明,断根增加了0~20 cm土层紫花苜蓿根系的生物量和根表面积,其中二级根的生物量、表面积、根体积均显著增加,根系生物量和表面积增加是断根处理后紫花苜蓿产量增加的主要原因之一。

本研究仅仅是对单个区域断根处理2年的数据总结,还存在许多需要完善的地方。然而紫花苜蓿作为多年生牧草,要研究清楚断根的影响,需要多年多点试验的研究;另外,紫花苜蓿根系与土壤之间的关系非常复杂,包括根系与土壤养分、土壤结构、土壤微生物等许多方面,断根对种植多年紫花苜蓿生长状况的影响仍亟待进一步研究。建议在紫花苜蓿多年种植区域开展多区域连续断根研究,为断根技术在紫花苜蓿生产中的应用提供理论依据。

4 结论

20~25 cm土层断根处理种植多年紫花苜蓿田,紫花苜蓿株高增加了18%,分枝数增加了20个/株,草产量增加了33.8%;紫花苜蓿根生物量增加了54.5%,根长增加了8%,根表面积增加了24.6%,根体积增加了79.4%;断根技术适用于内蒙古中东部及东北种植多年紫花苜蓿田,是这些区域维持紫花苜蓿高产、延长紫花苜蓿利用年限的一种有效方法。

参考文献:

- [1] 郭丰辉,丁勇,马文静,等. 紫花苜蓿个体性状对土壤磷素供给能力的响应研究[J]. 草原与草坪, 2021, 41(7): 18-25.
- [2] 张春霞,郝明德,王旭刚,等. 黄土高原地区紫花苜蓿生长过程中土壤养分的变化规律[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6): 1107-1111.
- [3] 张文杰,李向林,万里强,等. 翻耕与播种间隔时间对后茬苜蓿生长的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(1): 127-130.
- [4] 韩博,张攀,王卫栋,等. 关中地区紫花苜蓿生产性能和利用年限的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 51-56.
- [5] 刘东霞,刘贵河,杨志敏. 种植及收获因子对紫花苜蓿干草产量和茎叶比的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(3): 48-57.
- [6] 侯扶琴,吕转平,蒙旭辉. 切根对紫花苜蓿生产的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(7): 1088-1092.
- [7] 滕爱娣,邓波,王显国,等. 沙地苜蓿种植年限对土壤速效钾与碱解氮含量的影响[J]. 草原与草坪, 2015, 35(6): 22-26.
- [8] 李国雷,刘勇,祝燕. 苗木切根技术研究进展[J]. 林业科学, 2011, 47(9): 140-147.
- [9] You Y, Wang D, Liu J. A device for mechanical remediation of degraded grasslands[J]. Soil and Tillage Research, 2012, 118: 1-10.
- [10] 李辉,郭玉明. 牧草破土切根复壮机械研究进展[J]. 农机化研究, 2012, 34(4): 219-223.
- [11] 乌仁其其格,闫瑞瑞,辛晓平,等. 切根改良对退化草地羊草群落的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(4): 55-58.
- [12] 张俊刚,姜慧敏,李雅茹,等. 施肥、灌溉对切根改良草地群落的影响[J]. 中国草地学报, 2016, 38(1): 81-86.
- [13] 寇建村,贾志宽,易华,等. 断根对4年生紫花苜蓿第1茬叶片保护酶的影响[J]. 草地学报, 2009, 17(5): 564-569.
- [14] 雍小华,贾志宽,韩清芳. 不同土层深度苜蓿断根后对其株高生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 85-89.
- [15] 张瑞富,杨恒山,包宝君,等. 8个紫花苜蓿品种多年草产量比较[J]. 作物杂志, 2010, 3: 78-81.
- [16] 邵继承,张丽妍,杨恒山. 种植年限对紫花苜蓿栽培草地草产量及土壤氮、磷、钾含量的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(12): 82-86.
- [17] 夏方山,闫慧芳,王明亚,等. 紫花苜蓿连作对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 中国草食动物科学, 2015, 35(2): 48-51.
- [18] 刘殿英. 小麦断根对其根系与产量性状的影响[J]. 山东农学院学报, 1983(2): 35-42.
- [19] Ma S C, Xu B C, Li F M, et al. Effects of root pruning on competitive ability and water use efficiency in winter wheat[J]. Field Crops Research, 2008, 105: 56-63.
- [20] Głab T. Effects of tractor wheeling on root morphology and yield of lucerne (*Medicago sativa* L.) [J]. Grass and Forage Science, 2008, 63: 398-406.
- [21] Tomasz G. Effect of soil compaction on root system morphology and productivity of alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2011, 20: 1473-1480.
- [22] Haki J, Fuksa P, Šantrůček J, et al. The development of

- lucerne root morphology traits under high initial stand density within a seven year period[J]. *Plant Soil and Environment*, 2011, 57: 81–87.
- [23] Chen G, Well R R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops [J]. *Soil and Tillage Research*, 2011, 117: 17–27.
- [24] 肖继兵, 孙占祥, 杨久廷, 等. 半干旱区中耕深松对土壤水分和作物产量的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(3): 709–714.
- [25] 郭正刚, 张自和, 肖金玉, 等. 黄土高原丘陵沟壑区紫花苜蓿品种间根系发育能力的初步研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(8): 1007–1012.
- [26] 李扬, 孙洪仁, 沈月, 等. 紫花苜蓿根系生物量垂直分布规律[J]. *草地学报*, 2012, 20(5): 793–799.
- [27] 朱天琦, 刘晓静, 张晓玲. 氮营养调控对紫花苜蓿根系形态及其解剖结构的影响[J]. *草地学报*, 2016, 24(6): 1290–1295.

Effect of tilling on yield and root morphology of alfalfa

MAO Xiao-tao^{1,2*}, REN Li-fei³, BAI Wen-ming³, ZHANG Wen-hao³

(1. College of Life Science, Shangrao Normal University, Shangrao 334001, China; 2. Innovation Institute of Agricultural Technology of Shangrao, Shangrao 334001, China; 3. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, the Chinese Academy of Science, Beijing 100093, China)

Abstract: 【Objective】 Yield and quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) decreased with the increase in cultivating years of 3~5. This study was to solve these problems and prolong the utilization of alfalfa. 【Method】 The yield, roots and soil condition of 4-year old alfalfa were studied with tilled roots by 20~25 cm. 【Result】 The results showed that: 1) The height was increased by 18%, the number of branches was increased by 20 branches per plant, and the grass yield was increased by 33.8% in first year; 2) The root biomass was increased by 54.5%, the root length was increased by 8%, and the root surface area was increased by 24.6%, the root volume was increased by 79.4%; 3) The volume weight of 0~20 cm soil layer and soil compaction of 0~30 cm soil layer was reduced ($P < 0.05$). 【Conclusion】 Tilling technology can be used in alfalfa fields in central and eastern of Inner Mongolia and northeast China. Tilling is an effective method to maintain yield and prolong the utilization years of alfalfa in these areas.

Key words: alfalfa; tilling; yield; root morphology