

留茬高度对小叶锦鸡儿叶片部分光合指标及土壤水分的影响

王东清, 温学飞^①

(宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要: 以 2003 年种植的小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* Lam.) 为研究材料, 于 2018 年秋季进行平茬处理(留茬高度分别为 5、10、15、20 和 25 cm), 对次年生长季(5 月至 9 月)不同留茬高度处理小叶锦鸡儿叶片部分光合指标和土壤含水量进行比较和分析。结果表明: 5 个平茬处理中, 留茬高度 15 cm 处理小叶锦鸡儿的株高在 6 月至 9 月均最高。7 月, 不同处理小叶锦鸡儿的净光合速率 (Pn) 日变化存在明显的“午休”现象; 9 月, Pn 值无“午休”现象且达到最高。5 月至 9 月, 平茬处理小叶锦鸡儿的 Pn 值显著高于未平茬处理。留茬高度 5、10、20 和 25 cm 处理的 Pn 日均值呈逐渐升高的趋势, 留茬高度 15 cm 处理的 Pn 日均值呈“升高—降低—升高”的趋势。不同处理小叶锦鸡儿的蒸腾速率 (Tr) 日均值呈“升高—降低—升高—降低”的趋势; 而水分利用效率 (WUE) 日均值基本呈“降低—升高—降低”的趋势。留茬高度 15 cm 处理小叶锦鸡儿叶片 Pn 5 月至 9 月均值最高, 分别较未平茬处理以及留茬高度 5、10、20 和 25 cm 处理增加了 1.46、0.48、0.25、0.20 和 0.49 倍; 留茬高度 20 cm 处理的 Tr 5 月至 9 月均值最高, 留茬高度 15 cm 处理的 Tr 5 月至 9 月均值次之; 留茬高度 15 cm 处理的 WUE 5 月至 9 月均值也最高, 分别较未平茬处理以及留茬高度 5、10、20 和 25 cm 处理增加了 0.66、0.15、0.25、0.45 和 0.56 倍。留茬高度 15 cm 处理 0~100 cm 土层土壤水分消耗较大, 60~100 cm 土层土壤水分消耗尤为突出, 这与其具有较高的水分利用效率相吻合。总体上看, 留茬高度 15 cm 处理的小叶锦鸡儿次年具有较强的光合能力, 快速再生能力较强, 建议小叶锦鸡儿的留茬高度为 15 cm。

关键词: 小叶锦鸡儿; 平茬; 留茬高度; 光合特性; 土壤含水量

中图分类号: Q945.78; S727.2.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674–7895(2021)06–0047–11

DOI: 10.3969/j.issn.1674–7895.2021.06.06

Effect of stubble height on some photosynthetic indexes of leaves and soil water of *Caragana microphylla* WANG Dongqing, WEN Xuefei^① (Institute of Desertification Control, Academy of Ningxia Agricultural and Forestry Science, Yinchuan 750002, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(6): 47–57

Abstract: Taking *Caragana microphylla* Lam. planted in 2003 as research materials, stumping treatment was taken in autumn of 2018, with stubble height of 5, 10, 15, 20, and 25 cm respectively. In the next growing season (from May to Sept.), some photosynthetic indexes of leaves and soil water content of *C. microphylla* in different stubble height treatments were compared and analyzed. The results show that plant height of *C. microphylla* in treatment with stubble height of 15 cm is the highest from Jun. to Sept. among the 5 stumping treatments. In Jul., the diurnal variation of net photosynthetic rate (Pn) of *C. microphylla* in different treatments has a “lunch break” phenomenon. In Sept., Pn value reaches the highest without the “lunch break” phenomenon. From May to Sept., Pn values of *C. microphylla* treated with stumping treatments are significantly higher than that of no stumping treatment. The daily averages of Pn value of

收稿日期: 2021-01-22

基金项目: 宁夏自然科学基金(2018AAC03188); 宁夏农林科学院农业科技自主创新项目(NKYG-19-02)

作者简介: 王东清(1981—), 女, 山西怀仁人, 硕士, 助理研究员, 主要从事荒漠化防治研究方面的研究。

^①通信作者 E-mail: wenxuefei1973@126.com

引用格式: 王东清, 温学飞. 留茬高度对小叶锦鸡儿叶片部分光合指标及土壤水分的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(6): 47–57.

treatments with stubble height of 5, 10, 20, and 25 cm show gradually increasing trends, and that of treatment with stubble height of 15 cm shows an “increasing-decreasing-increasing” trend. The daily average of transpiration rate (Tr) of *C. microphylla* in different treatments shows an “increasing-decreasing-increasing-decreasing” trend, while the daily average of water use efficiency (WUE) basically shows a “decreasing-increasing-decreasing” trend. Compared with no stumping treatment and treatments with stubble height of 5, 10, 20, and 25 cm, the monthly average from May to Sept. of Pn value of treatment with stubble height of 15 cm is the highest, which increases by 1.46, 0.48, 0.25, 0.20, and 0.49 times respectively. The monthly average from May to Sept. of Tr value of treatment with stubble height of 20 cm is the highest, followed by treatment with stubble height of 15 cm. Compared with no stumping treatment and treatments with stubble height of 5, 10, 20, and 25 cm, the monthly average from May to Sept. of WUE value of treatment with stubble height of 15 cm is also the highest, which increases by 0.66, 0.15, 0.25, 0.45, and 0.56 times respectively. The water consumption of 0–100 cm soil layer of treatment with stubble height of 15 cm is large, especially in 60–100 cm soil layer, which is consistent with its high water use efficiency. In general, *C. microphylla* in treatment with stubble height of 15 cm has relatively strong photosynthetic capacity and rapid regeneration capacity in the next year, therefore, 15 cm stubble height is recommended for *C. microphylla*.

Key words: *Caragana microphylla* Lam.; stumping; stubble height; photosynthetic characteristics; soil water content

小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)隶属于豆科(Fabaceae)锦鸡儿属(*Caragana* Fabr.),灌木,不仅是防风固沙造林优选树种,还是农牧民舍饲养殖的优质饲草资源,具有生态和经济双重价值^[1-3]。宁夏中部干旱风沙区位于毛乌素沙地南缘,干旱少雨,植被稀疏,风沙灾害频繁,生态环境脆弱,已在20多年来的生态修复重建中种植了大量的锦鸡儿属植物,主要包括小叶锦鸡儿、柠条锦鸡儿(*C. korshinskii* Kom.)和中间锦鸡儿(*C. liouana* Zhao Y. Chang et Yakovlev)^[4],为当地的生态建设和畜牧业发展做出重要贡献。但是,随着树龄的增大,这些人工林林下土壤水分逐年亏缺^[5],植株老化,林地衰败现象明显,生态和经济效益明显下降。

小叶锦鸡儿为萌蘖植物,具有较强的再生能力,其地上部分组织被采食、刈割或火烧破坏后会以萌蘖形式迅速生长^[6]。平茬复壮技术能够促进植株地上部分的更新,提高植株的光合速率和水分利用效率,改善土壤水分条件,是灌木林更新抚育的重要手段^[7]。平茬可调整植株的营养分配,提高植株的光能利用率^[8-9]。高天鹏等^[6]研究认为,平茬能够促进柠条锦鸡儿地上部分萌蘖组织生长,增强根系吸水能力,减弱受干旱胁迫程度,提高光系统Ⅱ活性和光合速率。于瑞鑫等^[10]研究认为,平茬后1年的中间锦鸡儿处于补偿生长活跃期,水分利用效率明显高于平茬后2、3、4和5年,净光合速率和蒸腾速率也略高于未平茬处理。

目前,针对以上锦鸡儿属植物留茬高度对其光合特性和土壤水分的影响研究已有相关报道,但是由于植物种类、平茬季节和生长地理环境等存在差异,最适留茬高度不尽相同。刘思禹^[11]对内蒙古东南部春季平茬的10年生柠条锦鸡儿的生长及光合生理进行研究,认为最适留茬高度为10 cm。常春^[12]研究了生长于内蒙古西南部夏季平茬的7~8年生柠条锦鸡儿的长势和常规营养物质含量,认为柠条锦鸡儿生长季最适留茬高度为2~4 cm,太低和太高均不利于枝条的分蘖与再生。周静静^[13]基于长势对宁夏盐池县12年生5月平茬的中间锦鸡儿进行研究,认为留茬高度对当年再生速度和分枝数等无显著影响,可采取齐地平茬。目前,关于平茬对小叶锦鸡儿的研究大都围绕单一留茬高度对其营养价值^[14]、群落特征^[15-16]和土壤微生物群落^[17]等方面,而不同留茬高度对其光合特性和土壤水分的影响尚不明确。本研究试验区人工种植大量带状小叶锦鸡儿,研究不同留茬高度对小叶锦鸡儿叶片部分光合指标及土壤水分的影响,探索其最适留茬高度,以期挖掘小叶锦鸡儿光合生产潜能,寻求合理的田间抚育管理措施,为指导小叶锦鸡儿生产实践提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 实验地概况

实验地位于宁夏盐池县花马池镇德胜墩(东经

107°27'、北纬37°46'), 年日照时数2 867 h, 年太阳辐射量586 kJ·cm⁻², ≥10℃年积温2 945℃, 无霜期128 d, 年均气温7.7℃, 年均降水量约290 mm, 年蒸发量2 132 mm。土壤类型主要为风沙土和灰钙土等, 土地瘠薄, 易受风蚀作用沙化, 属典型荒漠草原区, 以旱生和中旱生植物为主。

1.2 材料

供试材料小叶锦鸡儿于2003年退耕还林工程时种植, 密度3 900 hm⁻², 带距6 m, 一带双行, 行距1 m, 株距1 m, 一直为围栏禁牧区, 灌木林自然生长, 从未平茬, 老化现象明显。

1.3 方法

1.3.1 处理方法 选择地势平缓且林分条件基本一致的代表性地段建立试验地, 于2018年10月下旬分别按照留茬高度5、10、15、20和25 cm平茬, 未平茬(CK)处理作为对照, 每处理3个小区, 每个小区包括1条带, 小区面积3 m×20 m, 样地面积共1 080 m²。

1.3.2 株高测量方法 从2019年5月至9月, 每个处理选取具有代表性的15丛小叶锦鸡儿, 使用钢卷尺(精度0.1 cm)逐月测量株高(经过株冠中心点的垂直高度)。

1.3.3 叶片部分光合指标测定方法 分别于2019年5月下旬(现蕾期)、6月下旬(开花期)、7月下旬(结实期)、8月下旬(果后营养中期)和9月下旬(果后营养末期), 在晴朗日的8:00至18:00, 选取植株距地面2/3处向阳且长势较强的叶片, 使用LI-6800便

携式光合仪(美国LI-COR公司)测定叶片的净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr), 每2 h测定1次, 每处理选取3株, 同一蘖位叶片测定3枚, 每枚叶片测定3次。叶片水分利用效率(WUE)根据公式“WUE=Pn/Tr”^[18]计算。为避免样本数较多造成测定时间持续较长产生的误差, 测定时采用内部光源, 保证光强的稳定性。

1.3.4 土壤含水量测定方法 于2019年4月, 将长度为100 cm的土壤水分测量管采用专用工具埋设到距离小叶锦鸡儿主根50 cm的位置, 采用TRIME-HD₂TDR测量系统(德国IMKO公司), 于5月至9月对不同留茬高度小叶锦鸡儿林下0~20、20~40、40~60、60~80以及80~100 cm土层土壤的水分含量进行测定。

1.4 数据处理和分析

采用EXCEL 2016软件整理数据, 采用SAS 8.1软件中one-way ANOVA进行方差分析, 运用LSD法进行多重比较; 采用Origin 2019软件绘制土壤含水量时空格局分布图。

2 结果和分析

2.1 留茬高度对小叶锦鸡儿株高的影响

5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿的株高见表1。由表1可见: 5个平茬处理中, 留茬高度15 cm处理小叶锦鸡儿的株高在6月至9月均最高。

表1 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿的株高($\bar{X}\pm SD$)

Table 1 Plant height of *Caragana microphylla* Lam. with different stubble heights from May to Sept. ($\bar{X}\pm SD$)

留茬高度/cm Stubble height	各月份株高/cm Plant height in each month				
	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sept.
CK ¹⁾	74.20±6.37	76.60±6.94	81.60±5.51	85.00±6.59	85.93±7.69
5	23.73±2.31	34.33±3.70	41.93±4.89	48.00±5.33	55.40±7.93
10	20.20±1.32	34.00±5.37	44.73±11.47	48.60±10.89	51.53±11.53
15	22.13±4.91	34.73±6.69	46.33±10.16	54.73±11.56	58.13±12.01
20	22.20±3.76	33.40±7.09	40.20±7.64	49.00±13.52	51.60±12.63
25	26.60±2.47	30.40±4.19	36.60±5.21	40.13±6.78	41.40±6.53

¹⁾ CK: 未平茬 No stumping.

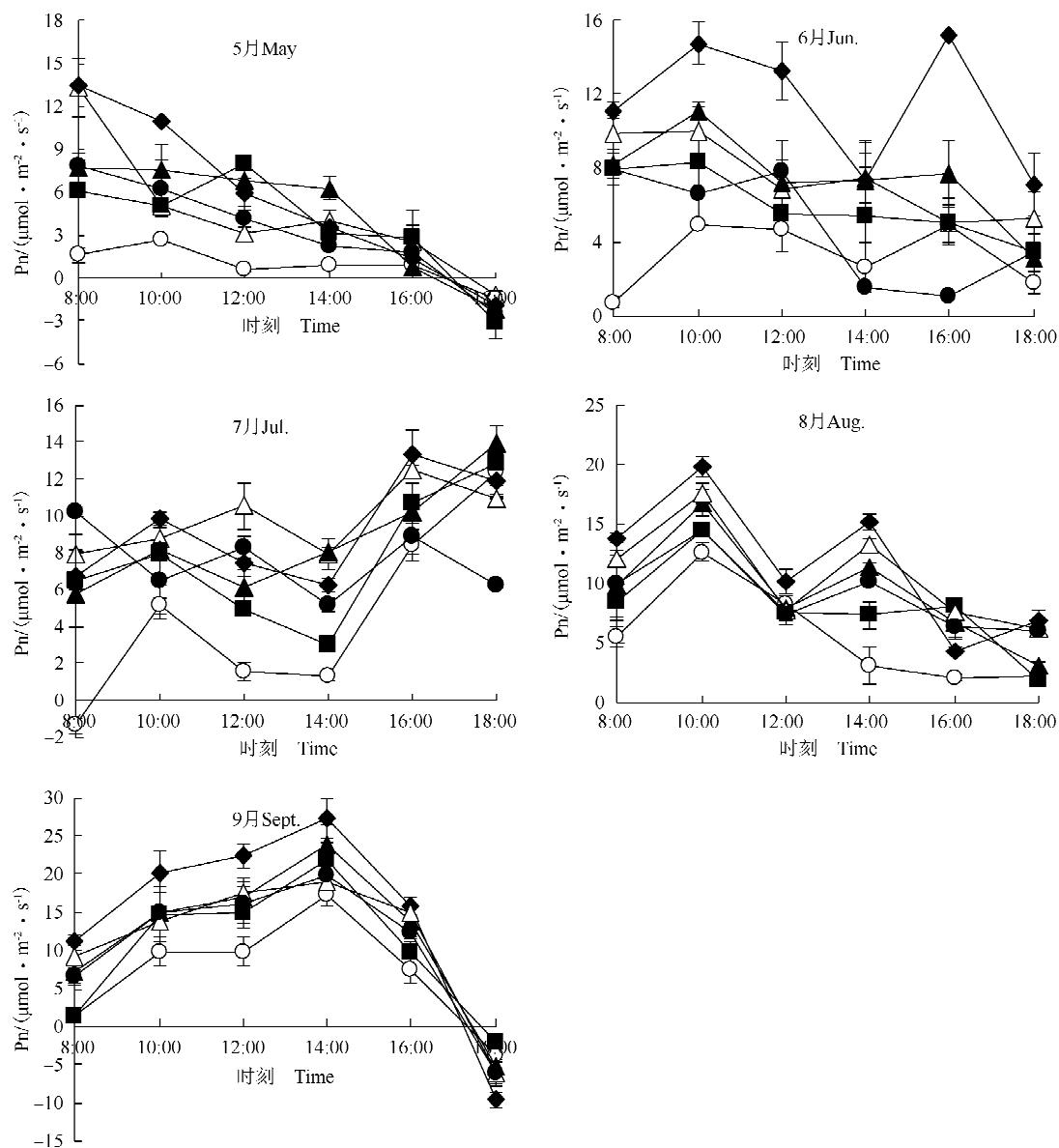
2.2 留茬高度对小叶锦鸡儿叶片部分光合指标日变化的影响

2.2.1 净光合速率(Pn)日变化 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片Pn值的日变化曲线见图1。

由图1可见: 5月, 未平茬处理小叶锦鸡儿叶片的Pn值在10:00略升高, 之后稳定, 16:00后下降, 留茬高度5 cm处理的Pn值呈先降低后升高再降低的趋势, 留茬高度10、15、20和25 cm处理的Pn值基本呈持

续降低的趋势。6月,未平茬处理和留茬高度15 cm处理的Pn值日变化呈明显的“双峰”曲线,“午休”现象出现在14:00,留茬高度5、10、20和25 cm处理的Pn值无“午休”现象,其中,除了14:00外,留茬高度15 cm处理在其他时段的Pn值高于其他处理,在16:00达到最高,为 $15.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。7月,未平茬处理以及留茬高度5和10 cm处理的Pn值日变化呈先升高后降低再升高的趋势,在18:00达到最

高,留茬高度15和20 cm处理的Pn值呈明显的“双峰”曲线,在16:00达到最高,分别为 13.38 和 $12.44 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。8月,除了未平茬处理和留茬高度5 cm处理外,其他处理的Pn值均呈明显的“双峰”曲线,“午休”现象出现在12:00,且不同处理的Pn值均在10:00最高。9月,不同处理的Pn值日变化均无明显“午休”现象,在14:00达到最高。

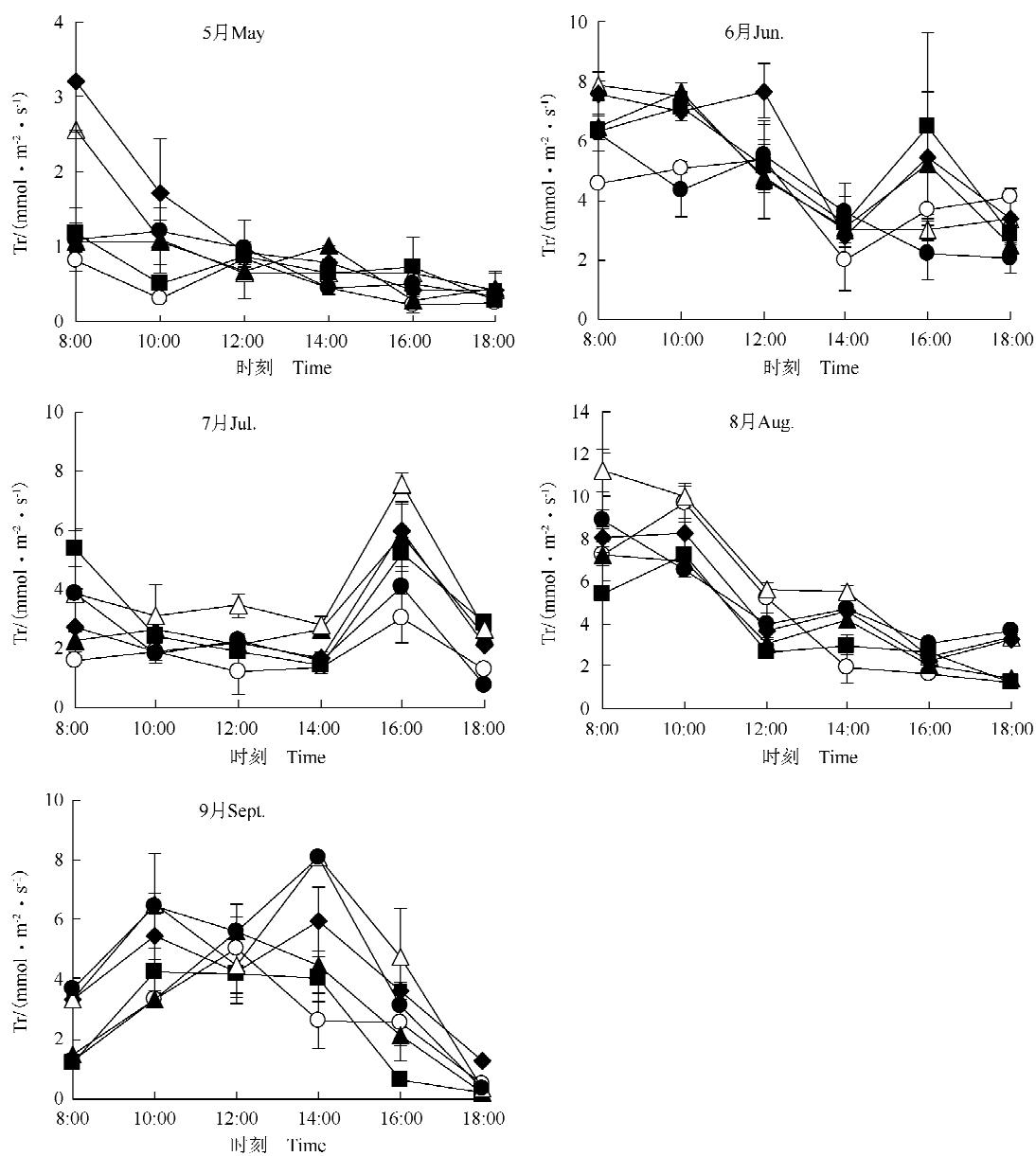


—○—: 未平茬 No stumping; —■—: 留茬高度 5 cm Stubble height of 5 cm; —▲—: 留茬高度 10 cm Stubble height of 10 cm; —◆—: 留茬高度 15 cm Stubble height of 15 cm; —△—: 留茬高度 20 cm Stubble height of 20 cm; —●—: 留茬高度 25 cm Stubble height of 25 cm.

图 1 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片净光合速率(Pn)的日变化曲线
Fig. 1 Diurnal variation curves of net photosynthetic rate (Pn) of *Caragana microphylla* Lam. leaves with different stubble heights from May to Sept.

2.2.2 蒸腾速率(Tr)日变化 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片Tr值的日变化曲线见图2。由图2可见:5月,除了未平茬处理以及留茬高度10和25 cm处理外,其余处理的Tr值在8:00最高。6月,除了留茬高度20和25 cm处理外,其余处理的Tr值在14:00有明显的“午休”现象。7月,除了留茬高度5 cm处理外,不同处理的Tr值在16:00最高,留茬高

度15和20 cm处理的Tr值分别达到5.98和7.57 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。8月,不同处理的Tr值在8:00或10:00最高,之后呈现明显下降趋势。9月,不同处理的Tr值总体在14:00后下降趋势明显,未平茬处理和留茬高度10 cm处理的Tr值在12:00达到最高,留茬高度15、20和25 cm处理的Tr值则在14:00达到最高。



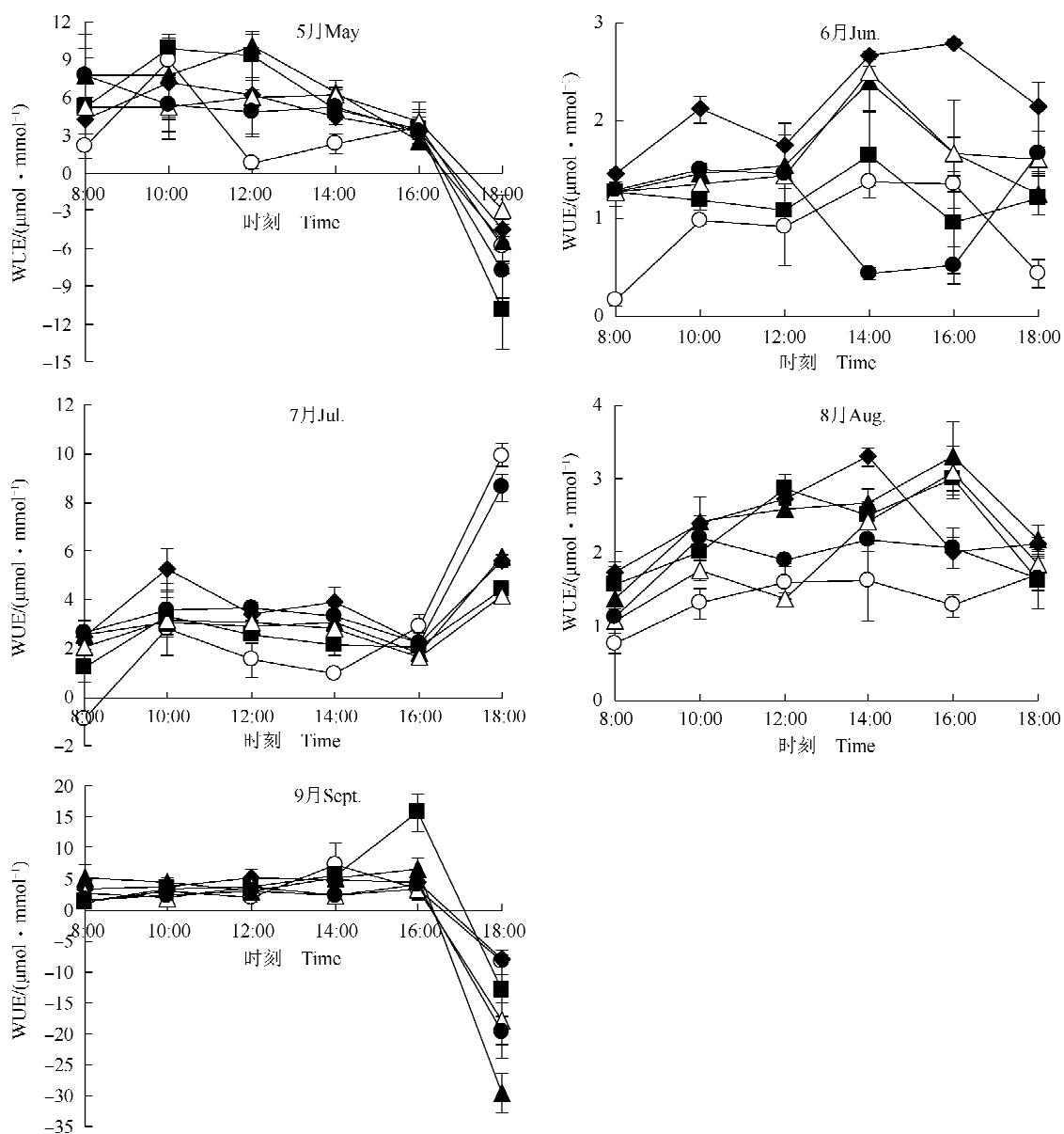
—○—: 未平茬 No stumping; —■—: 留茬高度 5 cm Stubble height of 5 cm; —▲—: 留茬高度 10 cm Stubble height of 10 cm; —◆—: 留茬高度 15 cm Stubble height of 15 cm; —△—: 留茬高度 20 cm Stubble height of 20 cm; —●—: 留茬高度 25 cm Stubble height of 25 cm.

图2 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片蒸腾速率(Tr)的日变化曲线

Fig. 2 Diurnal variation curves of transpiration rate (Tr) of *Caragana microphylla* Lam. leaves with different stubble heights from May to Sept.

2.2.3 水分利用效率(WUE)日变化 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片WUE值的日变化曲线见图3。由图3可见:5月和9月,不同处理小叶锦鸡儿叶片WUE值在16:00之后急剧降低,在18:00降至最低。6月,未平茬处理以及留茬高度5、10和20 cm处理的WUE值在14:00达到最高,其中,留茬高度15 cm处理的WUE值在各时段均高于其他处理,

且在16:00达到最高($2.79 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$)。7月,不同处理的WUE值在16:00以后急剧升高,在18:00达到最高。8月,留茬高度5、10和20 cm处理的WUE值在16:00最高,留茬高度15 cm处理的WUE值在14:00最高,未平茬处理的WUE值在18:00最高。



—○—: 未平茬 No stumping; —■—: 留茬高度 5 cm Stubble height of 5 cm; —▲—: 留茬高度 10 cm Stubble height of 10 cm; —◆—: 留茬高度 15 cm Stubble height of 15 cm; —△—: 留茬高度 20 cm Stubble height of 20 cm; —●—: 留茬高度 25 cm Stubble height of 25 cm.

图3 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片水分利用效率(WUE)的日变化曲线
Fig. 3 Diurnal variation curves of water use efficiency (WUE) of *Caragana microphylla* Lam. leaves with different stubble heights from May to Sept.

2.3 留茬高度对小叶锦鸡儿叶片部分光合指标月动态变化的影响

不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片部分光合指标的月动态变化见表2。由表2可见:5月至9月,各平茬处理小叶锦鸡儿叶片的净光合速率(P_n)日均值均显著($P<0.05$)高于未平茬处理。不同处理小叶锦鸡儿叶片 P_n 日均值在5月最低、9月最高;除了留茬高度15 cm处理的 P_n 日均值呈“升高—降低—升高”的变化趋势,在7月短暂降低,其余处理的 P_n 日均值呈逐渐升高的趋势。5月、6月、8月和9月,留茬高度15 cm处理的 P_n 日均值显著高于其他处理,留茬高度10和20 cm处理次之,且二者间基本差异不显著;7月,留茬高度20 cm处理的 P_n 日均值最高,留茬高度15 cm处理次之,二者间差异不显著。不同处理 P_n 5月至9月均值由高到低依次为留茬高度15 cm处理、留茬高度20 cm处理、留茬高度10 cm处理、留茬高度5 cm处理、留茬高度25 cm处理、未平茬处理。

不同处理小叶锦鸡儿叶片蒸腾速率(Tr)日均值的月动态变化趋势一致,均呈“升高—降低—升高—降低”的变化趋势。各处理5月的 Tr 日均值最低,6月和8月的 Tr 日均值较高。不同处理 Tr 5月至9月均值由高到低依次为留茬高度20 cm处理、留茬高度15 cm处理、留茬高度25 cm处理、留茬高度10 cm处理、留茬高度5 cm处理、未平茬处理。

不同处理小叶锦鸡儿叶片水分利用效率(WUE)日均值的月动态变化趋势与 Tr 日均值的月动态变化趋势相反,基本呈“降低—升高—降低”的变化趋势,各处理7月WUE日均值短暂升高。5月,不同处理小叶锦鸡儿叶片WUE日均值总体差异均不显著;6月和8月,各平茬处理的WUE日均值显著高于未平茬处理。不同处理WUE5月至9月均值由高到低依次为留茬高度15 cm处理、留茬高度5 cm处理、留茬高度10 cm处理、留茬高度20 cm处理、留茬高度25 cm处理、未平茬处理。

表2 不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片部分光合指标的月动态变化($\bar{X} \pm SD$)

Table 2 Monthly dynamic changes of some photosynthetic indexes of *Caragana microphylla* Lam. leaves with different stubble heights ($\bar{X} \pm SD$)

留茬高度/cm Stubble height	净光合速率日均值/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) ²⁾					Daily average of net photosynthetic rate ²⁾ 均值 Average
	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sept.	
CK ¹⁾	0.89±0.22d	3.26±0.13e	4.54±0.22d	5.64±0.21e	7.00±0.32e	4.27
5	3.67±0.61bc	5.97±0.64c	7.64±0.43c	7.99±0.26d	10.12±0.34d	7.08
10	4.47±0.53b	7.45±1.07b	8.71±0.10b	9.31±0.60c	11.90±1.07b	8.37
15	5.54±0.18a	11.46±0.26a	9.24±0.22ab	11.73±0.44a	14.55±0.18a	10.50
20	4.48±0.43b	7.42±0.19b	9.76±0.25a	10.77±0.21b	11.39±1.00bc	8.76
25	3.32±0.64c	4.72±0.26d	7.53±0.63c	9.09±0.20c	10.66±0.30cd	7.06

留茬高度/cm Stubble height	蒸腾速率日均值/($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) ²⁾					Daily average of transpiration rate ²⁾ 均值 Average
	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sept.	
CK ¹⁾	0.48±0.02d	4.11±0.33b	1.70±0.29e	4.51±0.41c	2.53±0.18c	2.67
5	0.70±0.04c	5.19±1.02a	3.20±0.09b	3.71±0.18d	2.40±0.34c	3.04
10	0.76±0.05c	4.93±0.71ab	2.96±0.24bc	4.17±0.27cd	2.85±0.15c	3.13
15	1.24±0.09a	5.65±0.12a	2.74±0.17c	5.04±0.30b	3.96±0.35b	3.73
20	1.00±0.19b	4.91±0.26ab	3.88±0.20a	6.38±0.30a	4.58±0.17a	4.15
25	0.76±0.09c	4.01±0.20b	2.36±0.21d	5.14±0.23b	4.54±0.36a	3.36

留茬高度/cm Stubble height	水分利用效率日均值/($\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$) ²⁾					Daily average of water use efficiency ²⁾ 均值 Average
	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sept.	
CK ¹⁾	1.94±0.77c	0.86±0.10d	2.88±0.20c	1.38±0.17c	1.46±0.51b	1.70
5	3.64±1.05ab	1.22±0.15c	2.64±0.15c	2.26±0.22a	2.79±0.67a	2.51
10	4.80±1.06a	1.59±0.08b	3.22±0.16b	2.42±0.05a	-0.79±0.49c	2.25
15	3.44±0.67ab	2.15±0.05a	3.83±0.16a	2.37±0.02a	2.30±0.38ab	2.82
20	3.90±0.53ab	1.63±0.03b	2.84±0.25c	1.93±0.02b	-0.54±0.86c	1.95
25	3.03±0.72bc	1.14±0.08c	4.03±0.20a	1.85±0.08b	-0.96±0.58c	1.81

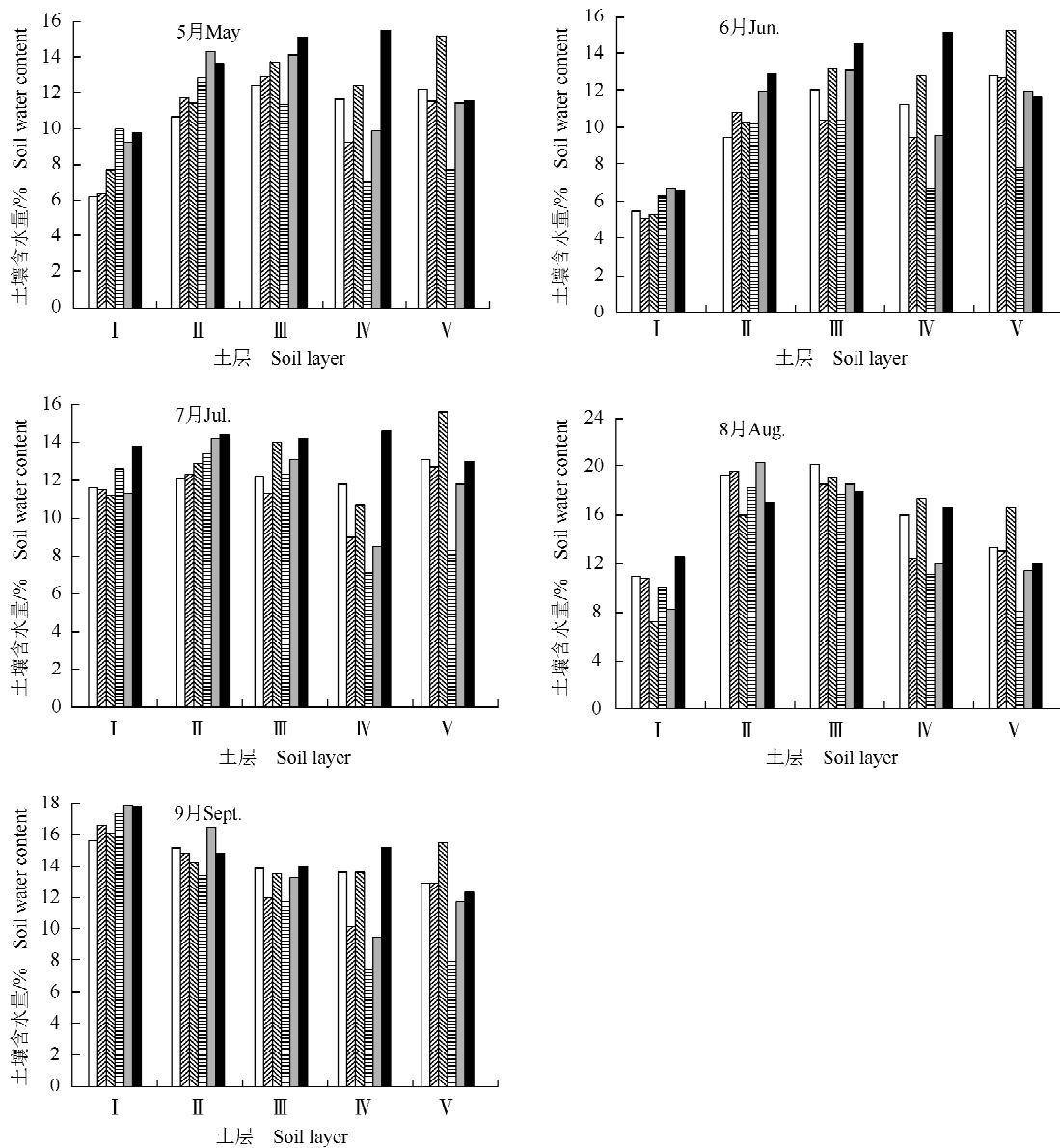
¹⁾ CK: 未平茬 No stumping.

²⁾ 同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference.

2.4 留茬高度对小叶锦鸡儿土壤水分分布格局的影响

2.4.1 土壤含水量的垂直变化特征 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿土壤含水量的垂直变化见图4。由图4可见:5月、6月和7月,随着土层厚度的加深,未平茬处理以及留茬高度5、10、15和20 cm处理

小叶锦鸡儿0~100 cm土层土壤含水量变化趋势基本一致,均呈先升高后降低再升高的趋势,留茬高度25 cm处理则总体呈先升高后降低的趋势;7月受降雨影响,不同处理0~20 cm土层土壤含水量较高;60~80 cm土层,未平茬处理和留茬高度25 cm处理的土壤含水量较高,留茬高度15 cm处理的土壤含水



□: 未平茬 No stumping; ▨: 留茬高度 5 cm Stubble height of 5 cm; ▨: 留茬高度 10 cm Stubble height of 10 cm; ▨: 留茬高度 15 cm Stubble height of 15 cm; ▨: 留茬高度 20 cm Stubble height of 20 cm; ■: 留茬高度 25 cm Stubble height of 25 cm.

I : 0~20 cm 土层 Soil layer of 0~20 cm; II : 20~40 cm 土层 Soil layer of 20~40 cm; III : 40~60 cm 土层 Soil layer of 40~60 cm; IV : 60~80 cm 土层 Soil layer of 60~80 cm; V : 80~100 cm 土层 Soil layer of 80~100 cm.

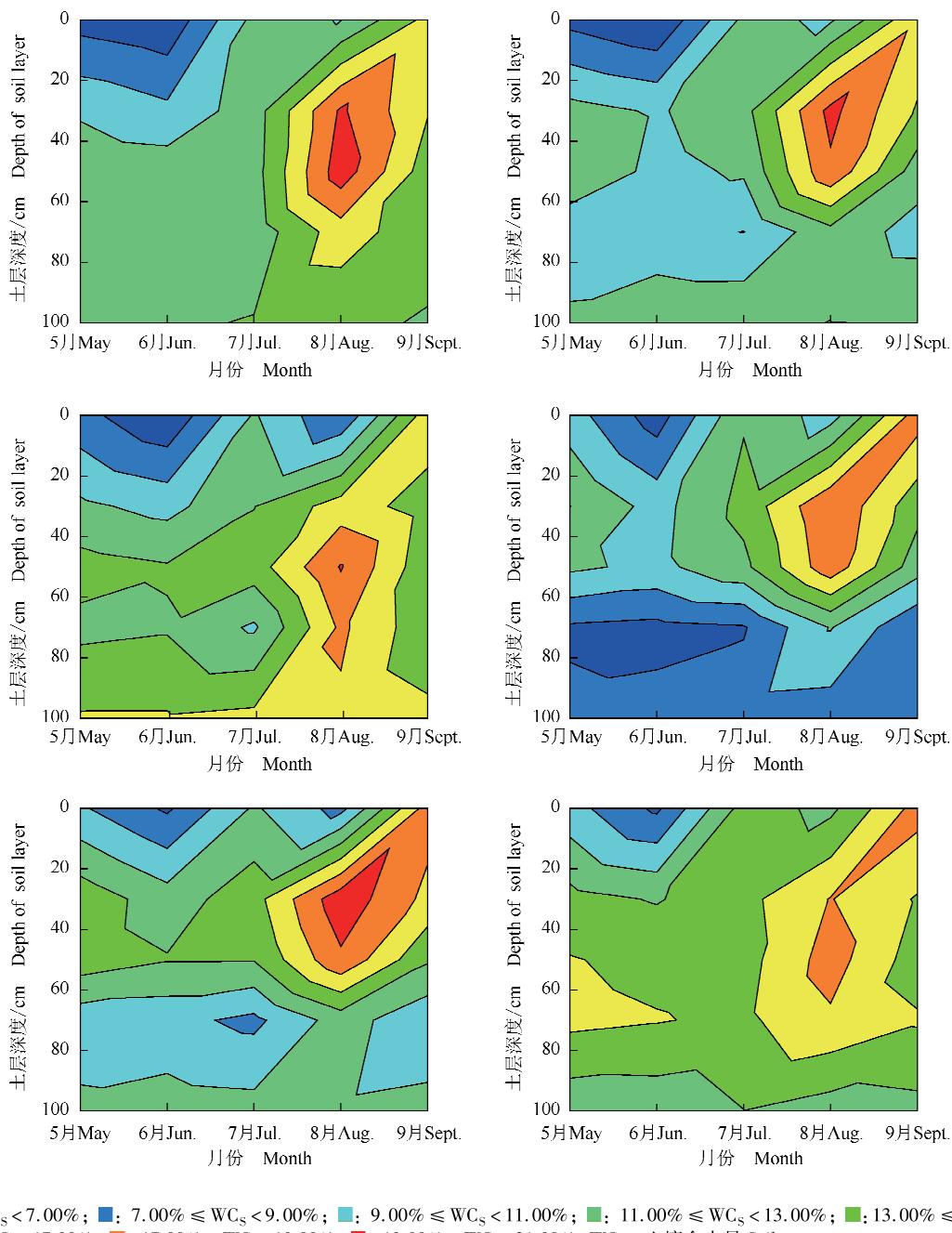
图 4 5月至9月不同留茬高度小叶锦鸡儿土壤含水量的垂直变化

Fig. 4 Vertical variation of soil water content of *Caragana microphylla* Lam. with different stubble heights from May to Sept.

量最低,仅为7.08%。8月,随着土层厚度的加深,除了留茬高度5 cm处理外,不同处理0~100 cm土层土壤含水量呈先升高后降低的趋势,40~60 cm土层土壤含水量明显升高,最高达20.35%。9月,受降雨影响,不同处理0~20 cm土层土壤含水量较高;随着土层厚度的加深,未平茬处理的土壤含水量呈下降趋势;留茬高度5、10、15和20 cm处理的土壤含水量呈

先降低后升高的趋势;留茬高度25 cm处理的土壤含水量呈先降低后升高再降低的趋势。5月至9月,留茬高度15 cm处理60~100 cm土层土壤含水量明显低于其余处理。

2.4.2 土壤含水量的月动态变化特征 不同留茬高度小叶锦鸡儿土壤含水量的月动态变化见图5。由图5可见:5月和6月,不同留茬高度小叶锦鸡儿0~



■: 5.00% ≤ WC_S < 7.00%; ■: 7.00% ≤ WC_S < 9.00%; ■: 9.00% ≤ WC_S < 11.00%; ■: 11.00% ≤ WC_S < 13.00%; ■: 13.00% ≤ WC_S < 15.00%; ■: 15.00% ≤ WC_S < 17.00%; ■: 17.00% ≤ WC_S < 19.00%; ■: 19.00% ≤ WC_S < 21.00%. WC_S: 土壤含水量 Soil water content.

图5 不同留茬高度小叶锦鸡儿土壤含水量的月动态变化
Fig. 5 Monthly dynamic change of soil water content of *Caragana microphylla* Lam. with different stubble heights

40 cm 土层土壤含水量均处于较低水平,变化范围为 5.07%~14.27%;与其他处理相比,留茬高度 15 cm 处理 60~100 cm 土层土壤水分消耗极为显著,含水量变化范围为 6.73%~11.30%。7 月至 9 月,由于受降雨补给,不同留茬高度处理 0~100 cm 土层土壤含水量较高,其中 8 月的土壤含水量最高,变化范围为 7.17%~20.14%。不同留茬高度处理 40~80 cm 土层土壤含水量等值线比较密集,土壤含水量上升显著;与其他处理相比,留茬高度 15 cm 处理 60~100 cm 土层土壤水分消耗尤为突出,土壤含水量变化范围为 6.73%~11.04%。

3 讨 论

3.1 留茬高度对小叶锦鸡儿叶片光合特性的影响

本研究实验地处干旱半干旱区,水是制约植株生长的主要因子,水分亏缺会导致气孔关闭,蒸腾速率和净光合速率降低,致使植株停止生长。小叶锦鸡儿平茬后,植株地上部和地下部的平衡被打破,受到干旱胁迫能力减弱,且根冠比失调,源库关系改变,剩余叶片中叶绿素含量、细胞分裂素和光合酶活性增加等^[19],叶片光合能力增强,净光合速率(P_n)5 月至 9 月均值均高于未平茬处理,这主要是由于植株清除了消耗资源的低效组织,为其余组织生长提供了有利条件,且较为稀疏冠层的光照增强,加速了植株光合再循环^[20~21]。7 月,不同处理小叶锦鸡儿 P_n 值日变化存在明显的“午休”现象,而 9 月的 P_n 值日变化无“午休”现象, P_n 值在 12:00 至 14:00 有不同程度的上升趋势,这与 9 月的温度偏低,蒸腾作用减弱,中午光合有效辐射增强导致 P_n 值升高有关^[22]。不同处理小叶锦鸡儿在 7 月的蒸腾速率(Tr)值有所降低,这是因为外界气温上升,植物体内水分亏缺,气孔关闭防止散失更多水分^[23]。平茬处理小叶锦鸡儿在 5 月具有较高的水分利用效率(WUE),这是由于萌蘖植物经过平茬后,第 2 年开春,新生枝叶分生组织活动强烈,细胞分裂速率快,需要消耗大量的同化产物^[24],以致 WUE 值显著升高,合成的干物质增多^[25]。植物的补偿能力与采食或刈割的强度有关^[26],在生长季(5 月至 9 月),留茬高度 15 cm 处理小叶锦鸡儿的 P_n 均值最高,分别较未平茬处理以及留茬高度 5、10、20 和 25 cm 处理增加了 1.46、0.48、0.25、0.20 和 0.49 倍;留茬高度 15 cm 和留茬高度

20 cm 处理的 Tr 均值较高,分别较未平茬处理增加了 0.39 和 0.56 倍;留茬高度 15 cm 处理的 WUE 均值最高,分别较未平茬以及留茬高度 5、10、20 和 25 cm 处理增加了 0.66、0.15、0.25、0.45 和 0.56 倍。总体上看,留茬高度 15 cm 的小叶锦鸡儿在平茬后第 2 年光合能力相对较强。

3.2 留茬高度对小叶锦鸡儿土壤水分的影响

植物通过根系吸收土壤水分和养分,平茬和刈割后植株的株高、冠幅和总叶面积等形态特征发生改变,导致植株根冠比失衡,影响植株的立地土壤条件,从而影响植株地下土壤含水量变化^[27]。小叶锦鸡儿属萌蘖植物,根系中贮存着大量的养分和碳水化合物,平茬后仍能供应地上和地下根系的生长^[28],郑士光等^[29]研究表明:平茬后,作为植株吸收土壤和养分的主体根系(小于 10 mm)会大幅度增加,从而提高植株对水分的吸收和利用,进而促进地上部快速生长。留茬高度 15 cm 处理小叶锦鸡儿在生长季内 0~100 cm 土层土壤水分消耗最大,大量水分用于植株叶片光合同化产物的制造,从而促进细根的大量发育,这与其光合指标值较高相吻合,同时留茬高度 15 cm 处理在 60~100 cm 土层土壤水分消耗极为突出。荀俊杰等^[30]对晋西北黄土高原区小叶锦鸡儿的研究认为,40~90 cm 土层土壤为小叶锦鸡儿细根的主要分布区和生长活跃区。由此推断,留茬高度 15 cm 处理优于其余平茬处理,在平茬后次年其叶片的光合能力较高,能够合成较多的同化产物,进而促进地下细根的快速发育,吸收大量土壤水分,供地上部生长所需。

在生产实际中,为解决小叶锦鸡儿植株衰败老化现象,提高小叶锦鸡儿快速再生能力,建议最佳留茬高度为 15 cm。由于本文研究指标有限,时间周期短,随着生长年限的延长,不同留茬高度对小叶锦鸡儿的影响程度,还需展开更深入系统的研究。

参考文献:

- [1] 赵一之. 小叶、中间和柠条锦鸡儿的分布式样及其生态适应[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3411~3414.
- [2] 王娟, 倪健. 中国北方温带地区 5 种锦鸡儿植物的分布模拟[J]. 植物生态学报, 2009, 33(1): 12~24.
- [3] 张强. 晋西北小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)人工灌丛营养特征与土壤肥力状况研究[D]. 太原: 山西大学黄土高原研究所, 2011: 2.
- [4] 左忠, 王金莲, 张玉萍, 等. 宁夏柠条资源利用现状及其饲料开发潜力调查: 以盐池县为例[J]. 草业科学, 2006, 23(3):

- 17-22.
- [5] 付青云, 刘小燕, 刘廷玺, 等. 不同树龄小叶锦鸡儿干旱降水过渡时期用水策略研究[J]. 草业学报, 2018, 27(8): 67-77.
- [6] 高天鹏, 方向文, 李金花, 等. 水分对柠条萌蘖株和未平茬株光合参数及调渗物质的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(5): 103-109.
- [7] 王震, 张利文, 虞毅, 等. 平茬高度对四合木生长及生理特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(22): 7078-7087.
- [8] MATSUI H, INUI T, OKA K, et al. The influence of pruning and harvest timing on hop aroma, cone appearance, and yield[J]. Food Chemistry, 2016, 202: 15-22.
- [9] 王志锋, 王多伽, 于洪柱, 等. 刈割时间与留茬高度对羊草草甸草产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(2): 276-282.
- [10] 于瑞鑫, 王磊, 蒋齐, 等. 不同平茬年限人工柠条林光合特性及土壤水分的响应变化[J]. 西北植物学报, 2019, 39(3): 506-515.
- [11] 刘思禹. 不同留茬高度对柠条锦鸡儿生理生态特性影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学沙漠治理学院, 2018; 53.
- [12] 常春. 柠条生长季刈割关键技术研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学生态环境学院, 2010; 53.
- [13] 周静静. 不同平茬方式对宁夏荒漠草原人工柠条饲用特性及生境的影响[D]. 银川: 宁夏大学农学院, 2017; 38.
- [14] 高琪, 李青丰, 王亮, 等. 径级与平茬对小叶锦鸡儿营养价值的影响[J]. 中国草地学报, 2015, 37(4): 53-58.
- [15] 包哈森高娃, 阿拉坦花, 丰洁, 等. 科尔沁沙地不同林龄小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)人工林群落特征及平茬抚育后状况[J]. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1527-1531.
- [16] 丁新峰, 郝广, 董柯, 等. 平茬处理对小叶锦鸡儿灌丛邻居植物群落空间格局的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(11): 4011-4020.
- [17] 郝广, 王小平, 丁新峰, 等. 平茬对小叶锦鸡儿灌丛化草原土壤微生物群落的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(11): 3291-3297.
- [18] 卜晓莉, 姬慧娟, 马青林, 等. 生物炭-泥炭复合基质对马缨杜鹃生长和生理的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(5): 58-68.
- [19] VON CAEMMERER S, FARQUHAR G D. Effects of partial defoliation, changes of irradiance during growth, short-term water stress and growth at enhanced p(CO₂) on the photosynthetic capacity of leaves of *Phaseolus vulgaris* L.[J]. Planta, 1984, 160: 320-329.
- [20] MCNAUGHTON S J. Compensatory plant growth as a response to herbivore[J]. Oikos, 1983, 40: 329-336.
- [21] HOLOCHEK J L. Livestock grazing impacts on public lands: a viewpoint[J]. Journal of Range Management, 1981, 34(3): 251-254.
- [22] 刘志芳. 平茬对油蒿光合和生长影响的初步研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 2017; 10-32.
- [23] 张利平, 王新平, 刘立超, 等. 沙坡头主要建群植物油蒿和柠条的气体交换特征研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 133-137.
- [24] 高玉葆, 任安芝, 王巍, 等. 科尔沁沙地黄柳再生枝与现存枝形态和光合特征的比较[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1758-1764.
- [25] 王东清, 李国旗, 王磊. 干旱胁迫下红麻和大麻状罗布麻水分生理及光合作用特征研究[J]. 西北植物学报, 2012, 32(6): 1198-1205.
- [26] MASCHINSKI J, WHITHAM T G. The continuum of plant responses to herbivory: the influences of plant association, nutrient availability and timing[J]. The American Naturalist, 1989, 134(1): 1-19.
- [27] 于瑞鑫, 王磊, 杨新国, 等. 平茬柠条的土壤水分动态及生理特征[J]. 生态学报, 2019, 39(19): 7249-7257.
- [28] 方向文. 地上组织去除后柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)补偿生长的生理生态机制[D]. 兰州: 兰州大学生命科学学院, 2006: 66-67.
- [29] 郑士光, 贾黎明, 庞琪伟, 等. 平茬对柠条林地根系数量和分布的影响[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(3): 64-69.
- [30] 荀俊杰, 李俊英, 陈建文, 等. 幼龄柠条细根现存量与环境因子的关系[J]. 植物生态学报, 2009, 33(4): 764-771.

(责任编辑: 张明霞)