

# 留茬高度对小叶锦鸡儿光合生理和生长特征的影响

王东清, 温学飞, 李浩霞

(宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002)

**摘要:** [目的] 研究不同留茬高度小叶锦鸡儿生长和光合生理的变化规律, 揭示不同留茬高度下小叶锦鸡儿生长和光合能力的强弱, 探索其平茬时的最适留茬高度, 为寻求合理抚育管理措施、指导小叶锦鸡儿生产实践提供理论依据。[方法] 选择2003年人工种植小叶锦鸡儿为研究材料, 设置未平茬(CK)、留茬高度5 cm( $T_1$ ), 10 cm( $T_2$ ), 15 cm( $T_3$ ), 20 cm( $T_4$ ), 25 cm( $T_5$ )共6个处理于2018年秋季进行平茬, 分别测定次年生长季小叶锦鸡儿生长和光合生理指标。[结果] 平茬能显著提高小叶锦鸡儿株高、冠幅、新稍长的增长; 不同留茬高度处理净增长量均不同, 留茬高度15 cm处理株高、冠幅长和宽度、新稍长净增长量值最高, 分别较未平茬处理增加了203.44%, 278.10%, 292.59%, 385.43%; 留茬高度5, 10和20 cm处理的净增长量次之, 留茬高度25 cm的值最低, 较未平茬处理分别增加了25.15%, 26.38%, 25.93%, 88.48%; 一定留茬高度平茬能显著提高小叶锦鸡儿净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和水分利用效率(WUE); 不同处理小叶锦鸡儿日变化均有不同程度的光合、蒸腾“午休”现象; 留茬高度15 cm处理叶片 $P_n$ ,  $T_r$ , WUE日均值均最高, 分别比未平茬处理增加了2.52, 0.37和1.52倍; 留茬高度5, 10和20 cm处理次之, 留茬高度25 cm处理值最低, 其 $P_n$ 和WUE值分别比未平茬处理增加了0.45和0.32倍, 而 $T_r$ 值比未平茬处理降低了0.02倍。[结论] 平茬后次年生长季内, 留茬高度15 cm的平茬小叶锦鸡儿具有较强的生长补偿和光合能力, 留茬5, 10和20 cm植株的生长补偿和光合能力次之, 留茬25 cm植株的生长补偿和光合能力最弱。

**关键词:** 生长指标; 光合生理; 留茬高度; 小叶锦鸡儿

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)06-0057-06

中图分类号: S157.2

**文献参数:** 王东清, 温学飞, 李浩霞. 留茬高度对小叶锦鸡儿光合生理和生长特征的影响[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 57-62. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.009; Wang Dongqing, Wen Xuefei, Li Haoxia. Effects of different stubble height treatments on aboveground growth and photosynthetic physiology of *Caragana microphylla* bushwood [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 57-62.

## Effects of Different Stubble Height Treatments on Characters of Growth and Photosynthetic Physiology of *Caragana Microphylla* Bushwood

Wang Dongqing, Wen Xuefei, Li Haoxia

(Institute of Desertification Control, Academy of Ningxia Agricultural and Forestry Science, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

**Abstract:** [Objective] The effects of different stubble height on the growth and photosynthetic physiological characteristics of *Caragana microphylla* were studied, in order to provide theoretical basis for determining the most suitable stubble height of *Caragana microphylla*. [Methods] Taking the *Caragana microphylla* planted in 2003 as the research material, and setting six treatments of unflat stubble (CK), stubble height 5 cm ( $T_1$ ), 10 cm ( $T_2$ ), 15 cm ( $T_3$ ), 20 cm ( $T_4$ ) and 25 cm ( $T_5$ ) in autumn, 2018, the study measured the aboveground growth and photosynthetic physiological characteristics respectively in the next growing season. [Results] The different stubble height treatments listed in order of effect on the aboveground growth indicators and photosynthetic characteristics as follows:  $T_3 > T_1 > T_2 > T_4 > T_5 > CK$ .  $T_3$  treatment, compared with the CK treatment, exhibited the largest increases in plant height, crown length and width, and new branch among all treatments, with respective increases of up to 203.44%, 278.10%, 292.59%, 385.43%.  $T_5$

收稿日期: 2021-04-27

修回日期: 2021-07-24

资助项目: 宁夏自然科学基金项目“平茬措施下柠条的光合生理生态学补偿机制”(2018AAC03188); 宁夏农科院科技创新引导科技攻关项目“柠条生物发酵饲料加工关键技术研究”(NKYG-19-02)

第一作者: 王东清(1981—), 女(汉族), 山西省怀仁市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事荒漠化防治研究工作。Email: wangdongqing2046@163.com。

通讯作者: 温学飞(1972—), 男(汉族), 宁夏回族自治区盐池县人, 硕士, 副研究员, 主要从事荒漠化防治研究工作。Email: wenxuefei1972@126.com。

treatment only increased by 25.15%, 26.38%, 25.93% and 88.48%, respectively. A certain stubble height treatment significantly increased the net photosynthesis ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ) and water use efficiency (WUE) of *Caragana microphylla*. The diurnal changes of *Caragana microphylla* for all treatments showed photosynthesis and transpiration midday depression. The daily average value of  $P_n$ ,  $T_r$  and WUE of  $T_3$  treatment increased by 2.52, 0.37 and 1.52 times, respectively. The  $P_n$  and WUE of  $T_5$  treatment only increased by 0.45 and 0.32 times, while that of the  $T_r$  decreased by 0.02 times. [Conclusion] In the growth season of next year after coppicing, *Caragana microphylla* with 15 cm stubble height has strong growth compensation and photosynthetic capacity, followed by plants with 5, 10 and 20 cm stubble, and plants with 25 cm stubble have the weakest growth compensation and photosynthetic capacity.

**Keywords:** growth indicators; photosynthetic physiology; stubble height; *Caragana microphylla* bushwood

柠条(*Caragana*)是锦鸡儿属植物栽培种的通称<sup>[1]</sup>,为豆科灌木类植物,是欧亚草原亚区的典型植被<sup>[2]</sup>。柠条萌蘖力强,易成林,覆盖度高,根系发达,吸水力强,抗逆性强,具有较强的防风固沙和水土保持功能<sup>[3]</sup>,是我国西北干旱地区植被恢复、生态重建的重要树种<sup>[4]</sup>。柠条还是农牧民舍饲养殖的优良饲草资源,具有生态和经济双重效益。宁夏在近 20 a 的生态建设中,种植了大量带状柠条,主要有小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)和中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)<sup>[5]</sup>。目前,全区柠条面积达  $4.46 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,地上部总生物量达  $7.70 \times 10^5$  t,其中盐池县分布  $1.50 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,占该县林地面积的 60%<sup>[6]</sup>,为本地生态建设和畜牧业发展做出了有益贡献。研究表明,人工柠条林土壤水分状况随着林龄的增大而逐渐退化<sup>[7]</sup>,柠条在生长 6~8 a 后,木质化程度加剧,枝条干枯,柠条林退化现象逐步显现,生态和经济效益逐步下降<sup>[8]</sup>。生产实际中,平茬复壮技术能够促进植株地上部分的更新以及提高光合速率和水分利用效率,是灌木林更新抚育的重要手段<sup>[9-11]</sup>。柠条作为一种萌蘖植物,对地上叶、花的采食和枝条的破坏具有极强的补偿能力<sup>[4]</sup>,方向文<sup>[12]</sup>研究认为,地上部分枝条去除后柠条具有极强的再生生长能力和生殖补偿能力;于瑞鑫等<sup>[13]</sup>研究认为,平茬后 1 a 的柠条处于补偿生长活跃期,水分利用效率明显高于其他处理,净光合速率和蒸腾速率也略高于未平茬处理。目前,针对柠条平茬生理和生长影响研究大都围绕单一留茬高度与未平茬处理的对比研究<sup>[4,8,10]</sup>,而基于留茬高度的影响研究也有少量报道,但是由于柠条栽培种、平茬季节不同和地理环境差异等因素,最适留茬高度不尽相同。常春<sup>[14]</sup>对位于内蒙古西南部 7~8 a 生 7 月平茬的柠条锦鸡儿基于长势的判断认为,柠条生长季最适留茬高度为 2~4 cm;周静静<sup>[15]</sup>对位于宁夏盐池县 12 a 生 5 月平茬的中间锦鸡儿基于长势的判断

认为,留茬高度对柠条当年再生速度、分枝数等无显著影响,可采取齐地平茬;刘思禹<sup>[16]</sup>对位于内蒙古东南部 10 a 生 3 月平茬的柠条锦鸡儿基于生长及光合生理综合判断认为,柠条适宜的留茬高度为 10 cm,但至今尚未见到基于留茬高度的平茬方式对小叶锦鸡儿生长和光合生理影响研究的报道。本研究试验地人工种有大量带状小叶锦鸡儿,通过野外定位观测试验,设置不同平茬留茬高度,研究不同留茬高度小叶锦鸡儿生长和光合生理的变化规律,揭示不同留茬高度下小叶锦鸡儿生长和光合能力的强弱,探索其最适留茬高度,为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,从而指导生产实践提供理论依据。

## 1 试验地概况

试验基地位于宁夏盐池县花马池镇德胜墩(37°76'N,107.46 E),年日照时数为 2 867 h,年太阳辐射值 586 kJ/cm<sup>2</sup>, $\geq 10$  °C 的积温为 2 945 °C,无霜期为 128 d,年均气温 7.7 °C,年均降雨量约 290 mm 左右,年蒸发量为 2 132 mm。土壤类型主要为风沙土、灰钙土等,土壤肥力低,易受风蚀而沙化,属典型荒漠草原区,以早生和中旱生植物为主,除建植大量带状柠条外,还伴生有牛枝子(*Lespedeza davurica*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、赖草(*Leymus secalinus*)、砂珍棘豆(*Oxytropis psammocharis*)、乳浆大戟(*Euphorbia esula*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、蒺藜(*Tribulus terrester*)、蒙古虫实(*Corispermum mongolicum*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)、蒙古冰草(*Agropyron mongolicum*)等植物。

## 2 材料与方 法

### 2.1 试验材料

试材为小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*),

生育期从4月上旬开始萌芽,5月上旬初花,6月进入盛花期,6月下旬幼果形成,7月种子开始成熟,10月中后期进入枯黄期。该片林地于2003年退耕还林工程时种植,密度3900株/hm<sup>2</sup>,带距6m,一带双行,行距1m,株距1m,一直为围栏禁牧区,灌木林地自然生长,从未进行平茬,老化现象明显。本试验选择地势平缓、植被和生长状况一致的小叶锦鸡儿灌木林作为研究对象,2018年10月下旬按照留茬高度5cm(T<sub>1</sub>),10cm(T<sub>2</sub>),15cm(T<sub>3</sub>),20cm(T<sub>4</sub>),25cm(T<sub>5</sub>)选用背负式割灌机进行平茬,未平茬(CK)作为对照,共6个处理,每处理3个重复,每重复小区面积3m×20m,样地面积为1080m<sup>2</sup>。

## 2.2 测定内容与方法

**2.2.1 生长指标** 2019年5—9月生育期内,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0.1cm)逐月测定株高(经过株冠中心点的垂直高度)、冠幅(经过株冠中心点长度和宽度)、新稍长(所有新生枝长度)<sup>[17]</sup>,统计单丛分蘖数,净增长量为9月测定值减去5月测定值。

**2.2.2 光合指标** 2019年6月选择晴朗天气,在自然环境中,采用美国Li-Cor公司生产的LI-6800便携式光合仪,于当天8:00—18:00,选取植株2/3处向阳长势较强的叶片分别测定各处理的净光合速率[P<sub>n</sub>, μmol/(m<sup>2</sup>·s)]、蒸腾速率[T<sub>r</sub>, mmol/(m<sup>2</sup>·s)]

指标,每处理选取3株植株,2h测定一次,每株选取同一蘖位叶片3枚。叶片水分利用效率(WUE)由公式WUE=P<sub>n</sub>/T<sub>r</sub><sup>[18]</sup>计算。由于小叶锦鸡儿叶片较小,没有填满本光合仪所使用6cm<sup>2</sup>的叶室,每次测完数据后,将所测叶片摘下放入保温箱带回实验室扫描叶面积,将实际叶面积输入LI-6800光合仪导出相应数据自带程序中,计算实际P<sub>n</sub>,T<sub>r</sub>值。

**2.2.3 数据处理** 所测数据使用Excel 2016版软件整理后,导入SAS 8.1软件,采用one-way ANOVA进行方差分析,运用LSD法进行多重比较,显著性水平为0.05。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同留茬高度对小叶锦鸡儿生长特征的影响

**3.1.1 不同留茬高度对小叶锦鸡儿株高的影响** 由表1可知,5—9月整个生长季,CK和其他处理株高值差异均达到极显著(p<0.01)。不同处理株高净增长值呈现:T<sub>3</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>5</sub>>CK的趋势,T<sub>3</sub>净增长量最高,增长值达到36.20cm,较CK(11.93cm)增加了203.44%;T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub>净增长值分别为31.73,31.60,29.80和14.93cm,较CK分别增加了165.97%,164.88%,149.79%和25.15%。T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub>之间净增长量差异不显著,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub>之间差异达到了极显著(p<0.01)。

表1 5—9月不同留茬高度对小叶锦鸡儿株高的影响

cm

处理	不同月份株高					净增长量
	5月	6月	7月	8月	9月	
CK	74.20±6.37 <sup>A</sup>	76.60±6.94 <sup>A</sup>	81.60±5.51 <sup>A</sup>	85.00±6.59 <sup>A</sup>	85.93±7.69 <sup>A</sup>	11.93±4.17 <sup>C</sup>
T <sub>1</sub>	23.73±2.31 <sup>C</sup>	34.33±3.70 <sup>BC</sup>	41.93±4.89 <sup>BCD</sup>	48.00±5.33 <sup>B</sup>	55.40±7.93 <sup>B</sup>	31.73±6.30 <sup>AB</sup>
T <sub>2</sub>	20.20±1.32 <sup>D</sup>	34.00±5.37 <sup>BC</sup>	44.73±11.47 <sup>BC</sup>	48.60±10.89 <sup>B</sup>	51.53±11.53 <sup>B</sup>	31.60±11.01 <sup>AB</sup>
T <sub>3</sub>	22.13±4.91 <sup>CD</sup>	34.73±6.69 <sup>B</sup>	46.33±10.16 <sup>B</sup>	54.73±11.56 <sup>B</sup>	58.13±12.01 <sup>B</sup>	36.20±9.19 <sup>A</sup>
T <sub>4</sub>	22.20±3.76 <sup>CD</sup>	33.40±7.09 <sup>BC</sup>	40.20±7.64 <sup>CD</sup>	49.00±13.52 <sup>B</sup>	51.60±12.63 <sup>B</sup>	29.80±11.44 <sup>B</sup>
T <sub>5</sub>	26.60±2.47 <sup>B</sup>	30.40±4.19 <sup>C</sup>	36.60±5.21 <sup>D</sup>	40.13±6.78 <sup>C</sup>	41.40±6.53 <sup>C</sup>	14.93±5.12 <sup>C</sup>

注:同列不同大小写字母代表处理间的差异,大写字母代表在0.01水平差异极显著,小写字母代表在0.05水平差异显著。下同。

**3.1.2 不同留茬高度对小叶锦鸡儿冠幅的影响** 表2表明,5—9月整个生长季,CK和其他处理冠幅长度差异均达到极显著(p<0.01)。不同处理冠幅长度净增长值呈现:T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>5</sub>>CK的趋势,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>的净增长量较高,增长值分别为27.00和21.93cm,较CK(5.80cm)分别增加了365.52%和278.10%,二者差异不显著(p>0.05);T<sub>1</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub>净增长值分别为18.20,13.60和7.33cm,较CK分别增长了213.79%,134.48%和26.38%。T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>之间净增长量差异达到了极显著(p<0.01),T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub>之间

差异达到了极显著(p<0.01)。

表3表明,5—9月整个生长季,CK和其他处理冠幅宽度差异均达到极显著(p<0.01)。不同处理冠幅宽度净增长值呈现:T<sub>3</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>5</sub>>CK的趋势,T<sub>3</sub>的净增长量最高,增长值达到21.20cm,较CK(5.40cm)增加了292.59%;T<sub>2</sub>,T<sub>1</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub>净增长值分别为16.93,15.00,10.60和6.80cm,较CK分别增加了213.52%,177.78%,96.30%和25.93%。T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>之间差异不显著(p>0.05),T<sub>3</sub>与其他处理差异均达到了极显著(p>0.01)。

表 2 5—9 月不同留茬高度对小叶锦鸡儿冠幅长度的影响

cm

处理	不同月份冠幅长度					净增长量
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	
CK	106.60±16.74 <sup>A</sup>	109.00±16.66 <sup>A</sup>	110.80±16.95 <sup>A</sup>	111.80±17.02 <sup>A</sup>	112.13±17.33 <sup>A</sup>	5.80±1.66 <sup>D</sup>
T <sub>1</sub>	18.20±3.19 <sup>B</sup>	24.33±6.43 <sup>BC</sup>	28.00±7.62 <sup>BC</sup>	33.53±11.40 <sup>CD</sup>	36.00±10.72 <sup>CD</sup>	18.20±7.94 <sup>BC</sup>
T <sub>2</sub>	17.40±1.72 <sup>B</sup>	22.40±3.79 <sup>BC</sup>	33.33±11.96 <sup>B</sup>	42.73±13.58 <sup>B</sup>	44.20±13.33 <sup>B</sup>	27.00±11.74 <sup>A</sup>
T <sub>3</sub>	17.80±2.04 <sup>B</sup>	26.80±6.29 <sup>B</sup>	35.13±9.15 <sup>B</sup>	38.80±9.98 <sup>BC</sup>	39.53±9.46 <sup>BC</sup>	21.93±8.88 <sup>AB</sup>
T <sub>4</sub>	15.73±4.04 <sup>B</sup>	19.40±5.79 <sup>C</sup>	22.93±4.10 <sup>C</sup>	28.20±5.40 <sup>D</sup>	29.20±4.89 <sup>DE</sup>	13.60±6.54 <sup>C</sup>
T <sub>5</sub>	18.93±3.47 <sup>B</sup>	22.13±4.52 <sup>BC</sup>	24.00±5.26 <sup>C</sup>	25.60±5.19 <sup>D</sup>	26.00±5.00 <sup>E</sup>	7.33±2.66 <sup>D</sup>

表 3 5—9 月不同留茬高度对小叶锦鸡儿冠幅宽度的影响

cm

处理	不同月份冠幅宽度					净增长量
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	
CK	90.80±9.03 <sup>A</sup>	92.20±9.11 <sup>A</sup>	94.60±9.55 <sup>A</sup>	94.73±9.55 <sup>A</sup>	96.00±10.13 <sup>A</sup>	5.40±2.44 <sup>D</sup>
T <sub>1</sub>	14.73±2.19 <sup>B</sup>	19.40±5.17 <sup>BC</sup>	25.00±6.40 <sup>B</sup>	29.60±10.27 <sup>B</sup>	29.53±9.18 <sup>B</sup>	15.00±7.15 <sup>B</sup>
T <sub>2</sub>	14.40±2.32 <sup>B</sup>	19.73±2.96 <sup>BC</sup>	25.80±5.63 <sup>B</sup>	30.80±5.35 <sup>B</sup>	31.33±5.64 <sup>B</sup>	16.93±3.77 <sup>B</sup>
T <sub>3</sub>	13.13±3.16 <sup>B</sup>	22.20±5.95 <sup>B</sup>	27.60±6.81 <sup>B</sup>	33.40±7.55 <sup>B</sup>	34.20±7.61 <sup>B</sup>	21.20±9.33 <sup>A</sup>
T <sub>4</sub>	15.53±3.66 <sup>B</sup>	16.53±5.08 <sup>C</sup>	19.40±3.89 <sup>C</sup>	23.80±4.04 <sup>C</sup>	24.00±3.84 <sup>C</sup>	10.60±5.36 <sup>C</sup>
T <sub>5</sub>	14.00±2.51 <sup>B</sup>	16.20±3.69 <sup>C</sup>	18.93±3.87 <sup>C</sup>	19.60±3.31 <sup>C</sup>	20.60±3.38 <sup>C</sup>	6.80±1.52 <sup>CD</sup>

## 3.1.3 不同留茬高度对小叶锦鸡儿新稍长的影响

表 4 表明,5—9 月不同留茬高度小叶锦鸡儿新稍长净增长值呈现: T<sub>3</sub> > T<sub>1</sub> > T<sub>4</sub> > T<sub>2</sub> > T<sub>5</sub> > CK 的趋势, T<sub>3</sub> 净增长量最高, 增长值达到 22.33 cm, 较 CK (4.60 cm) 增加了 385.43%; T<sub>1</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>5</sub> 净增长

值分别为 21.80, 19.20, 19.07 和 8.67 cm, 较 CK 增加了 373.91%, 317.39%, 314.56%, 88.48%; 除 T<sub>5</sub> 处理外, 其余处理净增长量均与 CK 间的差异达到了极显著 ( $p < 0.01$ ), T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> 之间的差异不显著 ( $p > 0.05$ )。

表 4 5—9 月不同留茬高度对小叶锦鸡儿新稍长的影响

cm

处理	不同月份新稍长					净增长量
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	
CK	15.20±4.12 <sup>AB</sup>	16.93±4.24 <sup>B</sup>	19.33±4.30 <sup>C</sup>	19.67±3.84 <sup>D</sup>	19.80±3.26 <sup>D</sup>	4.60±1.19 <sup>B</sup>
T <sub>1</sub>	14.13±3.09 <sup>BC</sup>	24.47±4.93 <sup>A</sup>	31.40±7.27 <sup>AB</sup>	34.40±7.56 <sup>AB</sup>	35.93±7.77 <sup>AB</sup>	21.80±7.45 <sup>A</sup>
T <sub>2</sub>	13.27±1.54 <sup>CD</sup>	23.80±3.39 <sup>A</sup>	28.80±5.44 <sup>B</sup>	30.93±5.66 <sup>BC</sup>	32.33±5.76 <sup>BC</sup>	19.07±4.94 <sup>A</sup>
T <sub>3</sub>	16.47±2.16 <sup>A</sup>	25.87±2.79 <sup>A</sup>	33.80±5.58 <sup>A</sup>	36.20±5.78 <sup>A</sup>	38.80±6.46 <sup>A</sup>	22.33±6.33 <sup>A</sup>
T <sub>4</sub>	11.53±0.68 <sup>D</sup>	19.40±2.46 <sup>B</sup>	22.87±5.07 <sup>C</sup>	28.73±10.44 <sup>C</sup>	30.73±10.52 <sup>C</sup>	19.20±10.68 <sup>A</sup>
T <sub>5</sub>	7.93±1.94 <sup>E</sup>	11.07±2.81 <sup>C</sup>	15.20±3.82 <sup>D</sup>	16.47±3.19 <sup>D</sup>	16.60±3.10 <sup>D</sup>	8.67±1.72 <sup>B</sup>

## 3.1.4 不同留茬高度对小叶锦鸡儿分蘖数的影响

表 5 表明, T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理在 5 月分蘖已趋于稳定, 分蘖数均值分别为 9.93 和 7.73 个, 二者差异达到显著

( $p < 0.05$ ); T<sub>1</sub>, T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理在 6 月仍有不同程度的分蘖, 7 月趋于稳定, 分蘖数均值分别为 8.00, 8.00 和 8.60 个, 3 者差异不显著 ( $p > 0.05$ )。

表 5 5—9 月不同留茬高度对小叶锦鸡儿分蘖数的影响

个

处理	不同月份分蘖数				
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
CK	10.20±4.54 <sup>a</sup>	10.20±4.54 <sup>a</sup>	10.20±4.54 <sup>a</sup>	10.20±4.54 <sup>a</sup>	10.20±4.54 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	7.60±1.76 <sup>b</sup>	7.73±1.67 <sup>b</sup>	8.00±2.00 <sup>bc</sup>	8.00±2.00 <sup>bc</sup>	8.00±2.00 <sup>bc</sup>
T <sub>2</sub>	9.93±3.45 <sup>a</sup>	9.93±3.45 <sup>a</sup>	9.93±3.45 <sup>ab</sup>	9.93±3.45 <sup>ab</sup>	9.93±3.45 <sup>ab</sup>
T <sub>3</sub>	7.73±2.22 <sup>b</sup>	7.73±2.22 <sup>b</sup>	7.73±2.22 <sup>c</sup>	7.73±2.22 <sup>c</sup>	7.73±2.22 <sup>c</sup>
T <sub>4</sub>	7.73±0.70 <sup>b</sup>	8.00±0.65 <sup>b</sup>	8.00±0.65 <sup>bc</sup>	8.00±0.65 <sup>bc</sup>	8.00±0.65 <sup>bc</sup>
T <sub>5</sub>	8.33±1.40 <sup>ab</sup>	8.60±1.35 <sup>ab</sup>	8.60±1.35 <sup>abc</sup>	8.60±1.35 <sup>abc</sup>	8.60±1.35 <sup>abc</sup>



### 3.2 不同留茬高度对小叶锦鸡儿光合指标日变化的影响

3.2.1 净光合速率( $P_n$ )日变化 图1表明,CK,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  处理  $P_n$  日变化呈明显的“双峰”曲线,第一峰值均出现在上午 10:00 左右,其中  $T_3$  值最高可达  $14.76 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;第二峰值出现时间不同,CK,  $T_2$  和  $T_3$  处理均出现在下午 16:00 左右,  $T_4$  处理则出现在下午 14:00 左右,其中  $T_3$  值最高可达  $15.18 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。  $T_1$  和  $T_5$  处理  $P_n$  日变化无“双峰”特征,  $T_5$  在中午 12:00 以后  $P_n$  值下降趋势显著。平茬处理小叶锦鸡儿的  $P_n$  值均高于 CK 处理的值,不同处理日均值大小顺序为:  $T_3 > T_2 > T_4 > T_1 > T_5 > \text{CK}$ , 其值分别为 11.46, 7.45, 7.42, 5.97, 4.72, 3.26  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;其中  $T_3$  的值最大,较 CK 分别增加了 2.52 倍,  $T_2, T_4, T_1, T_5$  处理分别次之,其值分别比 CK 值分别增加了 1.29, 1.28, 0.83, 0.45 倍。

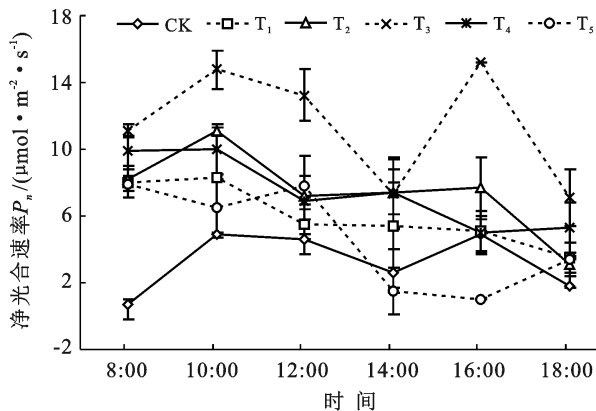


图1 不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片净光合速率( $P_n$ )日变化

3.2.2 蒸腾速率( $T_r$ )日变化 由图2可知,不同处理小叶锦鸡儿叶片  $T_r$  日变化趋势与  $P_n$  日变化趋势基本一致,均有不同程度的蒸腾“午休”现象,时间出现在 14:00 左右。不同处理,柠条叶片  $T_r$  的日均值呈现:  $T_3 > T_1 > T_2 > T_4 > \text{CK} > T_5$  的趋势,其值分别为 5.65, 5.19, 4.93, 4.91, 4.11, 4.01  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。除  $T_5$  处理外,其余处理  $T_r$  值均高于 CK 处理的值;其中  $T_3$  的值最大,较 CK 的值分别增加了 0.37 倍,  $T_5$  值最低,较 CK 值降低了 0.02 倍;  $T_1, T_2, T_4$  处理分别次之,其值分别较 CK 的值分别增加了 0.26, 0.20, 0.19 倍。

3.2.3 水分利用效率(WUE)日变化 图3表明,较其他处理,  $T_3$  处理在 8:00—18:00 时间段 WUE 值一直处于最高值。平茬处理小叶锦鸡儿的 WUE 值均高于 CK 处理的值,不同处理日均值大小顺序为:  $T_3 > T_4 > T_2 > T_1 > T_5 > \text{CK}$ , 其值分别为 2.14, 1.63,

1.56, 1.20, 1.12, 0.85  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ;其中  $T_3$  的值最大,较 CK 的值增加了 1.52 倍,  $T_4, T_2, T_1, T_5$  处理分别次之,较 CK 的值分别增加了 0.92, 0.84, 0.41, 0.32 倍。

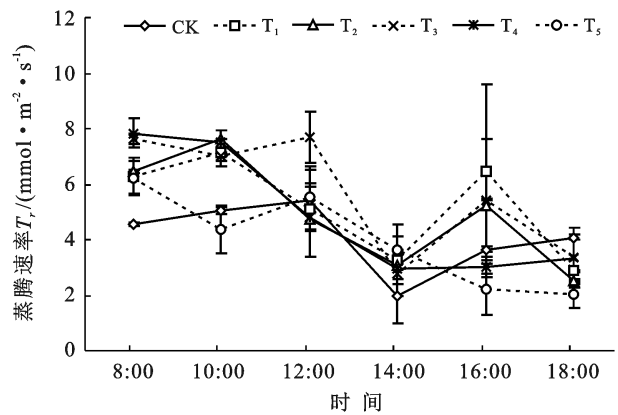


图2 不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片蒸腾速率( $T_r$ )日变化

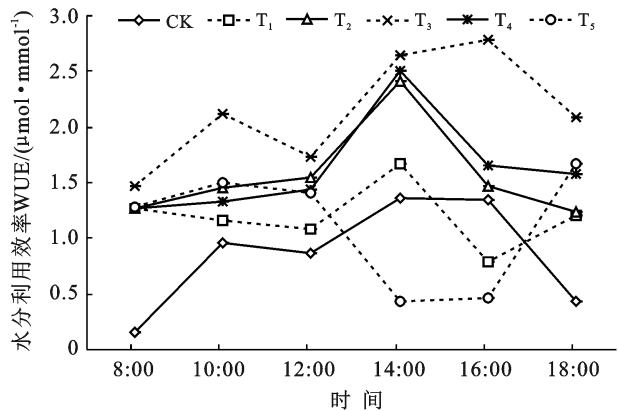


图3 不同留茬高度小叶锦鸡儿叶片水分利用效率(WUE)日变化

## 4 讨论

### 4.1 不同留茬高度对小叶锦鸡儿生长特征的影响

平茬是灌木更新复壮的一种有效措施<sup>[19]</sup>,植物地上部分遭到破坏后会进行补偿性生长<sup>[20]</sup>,植物的补偿能力和采食或刈割的强度有关<sup>[21]</sup>,植株平茬后其物质分配也会发生改变,地上生物量分配比例增加,以更多的光合作用来获取生长所需的营养物质<sup>[22]</sup>,被用于枝叶生长,能够有效增加新生枝的数量和长度,并扩大冠幅,改善枝叶内部的通风和透光条件,有利于塑造合理的株行<sup>[23]</sup>。本研究得出,小叶锦鸡儿在平茬后的第一生长季内,株高、冠幅、新稍长净增长量均显著高于未平茬处理;留茬高度 15 cm 的植株,株高、冠幅长度和宽度、新稍长净增长量均显著增加,与留茬高度 20 和 25 cm 的处理差异均达到了极显著;除冠幅宽度指标外,其余指标方面,留茬高度 15 cm 的增长量与留茬高度 5 和 10 cm 的处理差异均不显著;可见留茬高度 15 cm 以下的植株生存竞争

空间较大,为后期植株的生长提供了更多的生长空间,生长补偿能力优势明显。

#### 4.2 不同留茬高度对小叶锦鸡儿光合生理特征的影响

光合作用为植物生长提供能量和物质,是植物生长发育的基础和生产力高低的决定性因素<sup>[24]</sup>,是评价植株活力的重要指标之一。蒸腾作用是植物吸水的主要动力,有利于降低植物叶片温度和对 CO<sub>2</sub> 的吸收、同化,在一定程度上反映了植物调节水分和适应干旱环境的能力<sup>[25]</sup>, 萌蘖植物经过平茬之后,新生枝叶的分生组织活动强烈,细胞分裂速度较快,需要消耗大量的同化产物,而这一需求只能通过旺盛的呼吸作用来满足<sup>[26]</sup>。相同环境下,水分利用效率值越大,表明固定单位质量 CO<sub>2</sub> 所需的水分越少,植物耐旱能力越强<sup>[27]</sup>。在宁夏干旱半干旱地区,水是制约植物生长的主要因素,水分亏缺导致气孔关闭、蒸腾速率减小、净光合速率下降,致使植株生长停止、死亡。小叶锦鸡儿平茬后,植株地上地下平衡被打破,受到水分胁迫能力减弱,且根冠比失调、源库关系改变,剩余叶片中叶绿素含量及细胞分裂素和光合酶活性增加等<sup>[28]</sup>,植株叶片光合能力增强, P<sub>n</sub> 值、WUE 值显著高于未平茬植株,这主要是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,土壤水分消耗减少,较为稀疏的冠层对光合投射性增强,加速了植株光合再循环<sup>[29-30]</sup>。这与于瑞鑫等<sup>[13]</sup>对柠条锦鸡儿平茬后第一年的光合生理特征研究结果相一致。由于平茬强度的差异性,本试验留茬 15 cm 的小叶锦鸡儿净光合速率、蒸腾速率及水分利用率值均显著高于其他处理,单位时间固定的 CO<sub>2</sub> 较多,短时间内光合能力较强;留茬 5, 10, 20 cm 植株的值次之,光合能力减弱,而留茬 25 cm 的值最低,光合能力最弱。较强的光合能力为植株生长打下了物质基础,最终表现为株高、冠幅、新稍长、分蘖数等生长指标的增加。

## 5 结论

秋季平茬处理能够提高次年小叶锦鸡儿生长补偿和光合能力,不同留茬高度的平茬措施对其影响程度不同。总体上,留茬高度 15 cm 的平茬小叶锦鸡儿在次年生长季具有较强的生长补偿和光合能力;留茬高度 5, 10 和 20 cm 植株生长补偿和光合能力次之,留茬高度 25 cm 的植株生长补偿和光合能力最弱。由于本文研究指标有限,为全面弄清柠条平茬更新复壮的影响机理,还需展开更深入系统全面的研究。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 沈吉庆. 柠条主要病虫害发生及防治[J]. 中国林业, 2007(9): 37.
- [2] 程积民, 胡相明, 赵艳云. 黄土丘陵区柠条灌木林合理平茬期的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(2): 196-200.
- [3] 李刚, 赵祥, 张宾宾, 等. 不同株高的柠条生物量分配格局及其估测模型构建[J]. 草地学报, 2014, 22(4): 769-775.
- [4] 于文涛. 平茬措施对柠条生理特征及土壤理化性质的影响[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [5] 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, 17(3): 17-22.
- [6] 宋乃平, 杨新国, 何秀珍, 等. 荒漠草原人工柠条林重建的土壤养分效应[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 21-26.
- [7] 刘凯. 荒漠草原人工柠条林土壤水分动态及其对降水脉动的响应[D]. 宁夏 银川: 宁夏大学, 2013.
- [8] 杨永胜, 卜崇峰, 高国雄. 平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1327-1335.
- [9] 乔成龙. 柠条机械平茬抚育技术[J]. 当代农机, 2009(6): 70-71.
- [10] 张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等. 柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2454-2460.
- [11] 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.
- [12] 方向文. 地上组织去除后柠条补偿生长的生理生态机制[D]. 甘肃 兰州: 兰州大学, 2006.
- [13] 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.
- [14] 常春. 柠条生长季刈割关键技术研究[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [15] 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]. 宁夏 银川: 宁夏大学, 2017.
- [16] 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]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [17] 杨丹怡, 吉文丽, 杨静萱, 等. 平茬措施对凤丹生长、光合生理和结实的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(1): 43-51.
- [18] Ischer R A, Turner N C. Plant productivity in the arid and semiarid zones [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1978, 29: 277-317.
- [19] 闫志坚, 杨持, 高天明. 平茬对岩黄芩属植物生物学性状的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2311-2315.
- [20] Bond W J, Midgley J J. Ecology of sprouting in woody plants: The persistence niche [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2001, 16(1): 45-51.

- 沙过程[J].水土保持研究,2018,25(6):79-84,93.
- [18] 赵光旭,王全九,张鹏宇,等.短坡坡长变化对坡地风沙土产流产沙及氮磷流失的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):13-18.
- [19] 林艺,秦凤,郑子成,等.不同降雨条件下垄作坡面地表微地形及土壤侵蚀变化特征[J].中国水土保持科学,2015,13(3):32-38.
- [20] 魏霞,李勋贵,李占斌,等.黄土凸型复合坡面产流产沙过程的坡长与植被效应[J].水土保持学报,2015,29(5):45-49,55.
- [21] Fu Suhua, Wu Zhiping, Liu Baoyuan, et al. Comparison of the effects of the different methods for computing the slope length factor at a watershed scale [J]. International Soil and Water Conservation Research, 2013,1(2):64-71.
- [22] 郭军权,王文龙.坡度对浅沟侵蚀产沙的野外放水冲刷试验影响[J].水土保持学报,2019,33(4):87-92,212.
- [23] 陈晓安,蔡强国,张利超,等.黄土丘陵沟壑区不同雨强下坡长对坡面土壤侵蚀的影响[J].土壤通报,2011,42(3):721-725.
- [24] An J, Liu Q J, Wu Y Z. Optimization of the contour ridge system for controlling nitrogen and phosphorus losses under seepage condition [J]. Soil Use and Management, 2015,31(1):89-97.
- [25] 汪晓勇,郑粉莉.黄土坡面坡长对侵蚀—搬运过程的影响研究[J].水土保持通报,2008,28(3):1-4.
- [26] 姚璟,付兴涛.坡长对离石黄土坡面径流含沙量影响的模拟降雨研究[J].应用基础与工程科学学报,2018,26(3):493-501.
- [27] 宋玥,张忠学.不同耕作措施对黑土坡耕地土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2011,18(2):14-16,25.
- [28] 王磊,何超,郑粉莉,等.黑土区坡耕地横坡垄作措施防治土壤侵蚀的土槽试验[J].农业工程学报,2018,34(15):141-148.

(上接第 62 页)

- [21] Maschinski J, Whitham T G. The continuum of plant responses to herbivory: The influences of plant association, nutrient availability and timing [J]. American Naturalist, 1989,134(1):1-19.
- [22] Guitian R, Bardgett R D. Plant and soil microbial responses to defoliation in temperate seminatural grassland [J]. Plant and Soil, 2000,220(1/2):271-277.
- [23] Lee S G, Cho J G, Shin M H, et al. Effects of summer pruning combined with winter pruning on bush growth, yields, and fruit quality of 'Misty' southern highbush blueberry for two years after planting [J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2015, 56(6):740-748.
- [24] 姚素梅,康跃虎,刘海军,等.喷灌与地面灌溉条件下冬小麦光合作用的日变化研究[J].农业工程学报,2005, 21(11):16-19.
- [25] 周静静,马红彬,蔡育蓉,等.平茬时期与留茬高度对宁夏荒漠草原柠条营养成分和再生的影响[J].西北农业学报,2017,26(2):287-293.
- [26] 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.
- [27] Ueda Y, Nishihara S, Tomita H, et al. Photosynthetic response of Japanese rose species *Rosa bracteata* and *Rosa rugosa* to temperature and light [J]. Scientia Horticulturae, 2000,84(3/4):365-371.
- [28] Von Caemmerer S, Farquhar G D. Effects of partial defoliation, changes of irradiance during growth, short-term water stress and growth at enhanced  $p(\text{CO}_2)$  on the photosynthetic capacity of leaves of *Phaseolus vulgaris* L. [J]. Planta, 1984,160(4):320-329.
- [29] McNaughton S J. Compensatory plant growth as a response to herbivory [J]. Oikos, 1983,40(3):329-336.
- [30] Holechek J I. Livestock grazing impacts on public lands: A viewpoint [J]. Wildlife Management, 1994,58(1): 28-30.