

平茬措施对凤丹生长、光合生理和结实的影响

杨丹怡¹, 吉文丽^{1,①}, 杨静萱², 魏熠林³, 魏双雨¹

(1. 西北农林科技大学风景园林艺术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西安航天基地园林绿化工程有限公司, 陕西 西安 710100;
3. 恒大旅游集团有限公司, 广东 广州 510620)

摘要: 采用完全随机区组设计,研究了留茬高度(15、10和5 cm)及平茬时间(11月和2月)对凤丹(*Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang)3年生实生苗生长、光合生理和结实的影响。结果表明:随留茬高度的降低,凤丹的冠幅、单株新生枝数量、单株叶面积、比叶质量、叶片的光合作用参数[包括净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)和水分利用效率(WUE)]和叶绿素含量、果荚直径、单果荚籽粒数以及百粒质量均呈逐渐增加的趋势,且明显高于对照(未平茬处理)组。在同一留茬高度,随着时间的推移,凤丹叶片的Pn、Gs和WUE值以及叶绿素含量呈逐渐降低的趋势,Tr值呈逐渐升高的趋势。11月平茬处理组凤丹植株和叶片的生长指标、叶片光合作用参数以及结实指标总体上高于2月平茬处理组。方差分析结果表明:留茬高度处理组间凤丹的植株生长指标、叶片光合作用参数和叶绿素含量以及结实指标均存在极显著差异,平茬时间处理组间凤丹的植株生长指标和结实指标总体上存在极显著差异,其他指标间均无显著差异。总体上看,留茬高度5 cm和11月平茬处理利于凤丹塑造株型和提高光合效率,能够为优产和高产提供更有利的生长条件。

关键词: 凤丹; 留茬高度; 平茬时间; 生长特性; 光合特性; 结实

中图分类号: Q944; S565.9; S625.5⁺7 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)01-0043-09
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2019.01.06

Effect of stumping treatment on growth, photosynthetic physiology, and fruiting of *Paeonia ostii*

YANG Danyi¹, JI Wenli^{1,①}, YANG Jingxuan², WEI Yilin³, WEI Shuangyu¹ (1. College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Xi'an Aerospace Base Landscaping Engineering Co., Ltd., Xi'an 710100, China; 3. Hengda Tourist Group Co., Ltd., Guangzhou 510620, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(1): 43-51

Abstract: Effects of stubble height (15, 10, and 5 cm) and stumping time (November and February) on growth, photosynthetic physiology, and fruiting of 3-year-old seedling of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang were studied based on randomized complete block design. The results show that with the decrease of stubble height, crown width, new branch number per plant, leaf area per plant, specific leaf mass, photosynthetic parameters [including net photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), transpiration rate (Tr), and water use efficiency (WUE)] and chlorophyll content in leaf, pod diameter, grain number per pod, and 100-grain mass of *P. ostii* all show a tendency to increase gradually, and are evidently higher than those in the control (no stumping treatment) group. At the same stubble height, with prolonging of time, Pn, Gs and WUE values, and chlorophyll content in leaf of *P. ostii* show a tendency to decrease gradually, while its Tr value shows a tendency to increase gradually. Growth indexes of plant and leaf, leaf photosynthetic parameters, and fruiting indexes of *P. ostii* in stumping treatment group in November are higher than those in stumping treatment group in February generally. The variance analysis result shows that there are extremely significant differences in plant growth indexes, photosynthetic parameters and chlorophyll content in leaf, and fruiting indexes of *P. ostii* among stubble height treatment groups, extremely significant differences in plant growth indexes and

收稿日期: 2018-05-24

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研重大专项(201404701); 杨凌示范区科技计划项目(2017NY-16)

作者简介: 杨丹怡(1993—),女,陕西澄城人,硕士研究生,主要从事园林植物栽培生理方面的研究。

①通信作者 E-mail: jiwenli@nwsuaf.edu.cn

fruiting indexes of *P. ostii* among stumping time treatment groups in general, and no significant difference in other indexes. Overall, stubble height of 5 cm and stumping treatment in November are beneficial to shaping plant type and enhancing photosynthetic efficiency of *P. ostii*, and can provide more favorable growth conditions for superior and high yield.

Key words: *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang; stubble height; stumping time; growth characteristics; photosynthetic characteristics; fruiting

平茬是栽培育种中一种常用的技术手段,对优化新生枝生长、叶面积、产量、果实品质以及光合作用与营养储存之间的关系非常重要^[1]。适宜的留茬高度和平茬时间对植物生长有重要意义。休眠期平茬可调整植物营养分配,培育合理的树体结构,改善植株的通风和透光条件,提高植株光能利用率,从而不同程度提高植株的产量和品质^[2]。休眠期内合理的平茬时间也十分重要,平茬过早会迫使芽萌发,易遭受冻害,平茬过晚植株已萌芽,养分损耗较多,影响植株生长。有关平茬对柠条 (*Caragana korshinskii* Kom.)^[3]、沙冬青 [*Ammopiptanthus mongolicus* (Maxim. ex Kom.) Cheng f.]^[4]和四合木 (*Tetraena mongolica* Maxim.)^[5]生长和生理特性影响的研究结果表明:平茬对增加地上部分生物量以及提高光合速率和水分利用效率有明显作用,还能提高潜在生产力。随着留茬高度的降低,株高生长量、冠幅生长量和植株分枝数等生长指标的增加,光合效率和水分利用率等生理指标也随之升高^[5]。

油用牡丹是芍药科 (*Paeoniaceae*) 芍药属 (*Paeonia* Linn.) 牡丹组 (*Sect. Moutan* DC.) 植物中籽粒出油率高 ($\geq 22\%$) 的种的统称^[6]。凤丹 (*P. ostii* T. Hong et J. X. Zhang) 结籽量大,出油率高,是目前种植最为广泛的油用牡丹种类之一,也是中国特有的木本油料作物。2014年国务院办公厅出台的《关于加快木本油料产业发展的意见》中把油用牡丹确定为中国重点发展的三大木本油料树种之一。近年来,很多地方开始注重发展油用牡丹产业。但由于发展刚刚起步,有关凤丹栽培方面的研究较少,加上凤丹自然分枝少、角度小,接受阳光面积小,导致其产量较低^[7-8]。自然状态下,幼年凤丹常不分枝,少有自基部2或3分枝,对于以新生枝为结果枝的凤丹而言,限制了植株高产结实的潜力。目前,一些凤丹产业化生产基地已逐渐意识到平茬的重要性,但相关平茬措施的影响机制尚未明确。

鉴于此,作者尝试对凤丹3年生实生苗进行合理

的平茬处理,研究不同的留茬高度和平茬时间对凤丹植株生长、光合生理以及结实的影响,以期找到凤丹的最佳平茬方式,旨在为油用牡丹栽培措施优化和产业化发展提供理论和实践依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

实验于2016年9月至2017年8月在陕西省杨凌农业高新技术产业示范区大寨乡寨东村进行,该地的地理坐标为北纬34°29'、东经108°04'。该地区属暖温带大陆性季风气候,年降水量635.1 mm,年蒸发量993.2 mm,年均温12.9℃,年均日照时数2 163.8 h, $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温4 184℃,无霜期约211 d。田间管理良好,地块平整,肥力均匀。

1.2 材料和实验设计

于2016年9月从育苗基地移栽凤丹3年生实生苗,在实验地按小区种植,小区面积5 m×5 m,株行距0.5 m×0.8 m。采用完全随机区组设计,分别设置留茬高度15、10和5 cm,在2016年11月中旬(冬季休眠期)和2017年2月中旬(春季萌芽前)进行平茬处理,对照(CK)不进行平茬处理。每个处理3个重复。

1.3 方法

1.3.1 植株生长指标测量和统计 于2017年7月10日(果实生长期),在每个小区中随机取10株凤丹植株,使用卷尺(精度0.1 cm)分别测量株高(自然高度)和冠幅,重复测量3次,结果取平均值;使用卷尺(精度0.1 cm)测量单株所有新生枝的长度,使用游标卡尺(精度0.1 mm)测量单株所有新生枝的基径,重复测量3次,结果取平均值;统计单株新生枝数量。

1.3.2 叶片生长指标测量 于2017年7月10日,在每个小区中随机取10株凤丹植株,使用LI-3000C便携式叶面积仪(美国LI-COR公司)测量单株叶面积,重复测量3次,结果取平均值;然后每株取3枚相同叶位的叶片带回实验室,使用LI-3000C便携式叶

面积仪测量各组叶片叶面积。将叶片置于 105 °C 杀青 0.5 h, 再置于 80 °C 烘干至恒质量, 使用万分之一电子天平称量其干质量。各指标均重复测量 3 次, 结果取平均值。分别根据公式“比叶质量 = 单叶干质量/单叶面积”和“比叶面积 = 单叶面积/单叶干质量”计算比叶质量和比叶面积。

1.3.3 叶片光合作用参数测定 分别于 2017 年 5 月、6 月和 7 月每月上旬的晴天上午 9:00 至 11:00, 使用 LI-6400XT 便携式光合仪(美国 LI-COR 公司)测定凤丹植株叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)。测定时控制光照、空气相对湿度和 CO_2 浓度等环境条件, 每小区选取 3 株长势一致的健康植株, 每株选取 3 枚相同叶位的叶片为测定对象。叶片水分利用效率(WUE)根据公式“ $WUE = P_n/T_r$ ”进行计算。

1.3.4 叶片叶绿素含量测定 于上述同样的取样时期, 每小区选取 3 株凤丹植株, 每株取 3 枚相同叶位叶片, 单株混匀, 记为 3 个重复。采用丙酮乙醇混合液法^[9]提取叶绿素, 浸提后使用 UV-2450 紫外可见分光光度计(日本岛津公司)分别于波长 645 和 663 nm 处测定样品的吸光值, 然后计算叶绿素 a (Chla) 和叶绿素 b (Chlb) 的含量, 并进一步计算叶绿素含量(叶绿素 a 含量和叶绿素 b 含量之和)及叶绿素 a 含量和叶绿素 b 含量的比值(Chla/Chlb)。

1.3.5 结实指标测量 于 2017 年 8 月初(成熟期), 随机选取 10 株凤丹植株摘取全部果实, 统计 10 株植株的果荚数量, 使用百分之一天平称量各组果荚的总质量, 使用游标卡尺测量果荚直径。阴干脱粒后计算单果荚籽粒数, 使用百分之一天平称量百粒质量, 进

一步估算产量。各指标均重复测量 3 次, 结果取平均值。

1.4 数据处理

使用 EXCEL 2007 软件对所测实验数据整理后, 采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析和单变量多因素方差分析, 并采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性分析^[10]。

2 结果和分析

2.1 留茬高度对凤丹生长指标的影响

2.1.1 对植株生长指标的影响 留茬高度对凤丹植株生长指标的影响见表 1。由表 1 可以看出: 各处理组间凤丹的株高差异显著($P < 0.05$), 其中, 留茬 15 cm 处理组的株高最高, 为 45.2 cm, 留茬 10 cm 处理组的株高次之, 为 39.4 cm, 留茬 5 cm 处理组的株高最低, 为 33.6 cm。留茬 5 cm 处理组的冠幅最大, 为 46.8 cm, 较 CK(对照, 未平茬处理)组显著增加了 10.38%; 留茬 10 cm 处理组的冠幅次之, 为 45.9 cm, 较 CK 组增加了 8.25%。各处理组间凤丹的新生枝长度差异显著, 其中, 留茬 10 cm 处理组的新生枝最长, 为 35.0 cm, 为 CK 组的 1.25 倍, 留茬 5 和 15 cm 处理组的新生枝长度也显著大于 CK 组。留茬 15 和 10 cm 处理组的新生枝基径显著大于留茬 5 cm 处理组和 CK 组。留茬 5 cm 处理组的单株新生枝数量为 1.7, 显著大于其他处理组。

方差分析结果显示: 各组间凤丹的株高、冠幅、新生枝的长度和基径以及单株新生枝数量均存在极显著差异。

表 1 留茬高度对凤丹植株生长指标的影响($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Effect of stubble height on plant growth indexes of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

| 留茬高度/cm Stubble height | 株高/cm Height | 冠幅/cm Crown width | 新生枝长度/cm New branch length | 新生枝基径/mm New branch basal diameter | 单株新生枝数量 New branch number per plant |
|---------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| 15 | 45.2±4.9a | 43.4±4.6b | 31.1±3.7c | 9.03±0.72a | 1.3±0.3b |
| 10 | 39.4±5.5c | 45.9±4.8ab | 35.0±5.7a | 8.35±0.99b | 1.4±0.6b |
| 5 | 33.6±7.1d | 46.8±4.9a | 32.9±4.8b | 7.65±0.82c | 1.7±0.5a |
| CK ²⁾ | 43.0±7.1b | 42.4±4.4b | 28.0±3.3d | 7.86±0.72c | 1.2±0.4b |

¹⁾ 同列中不同的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⁾ CK: 对照, 未平茬处理 The control (no stumping treatment).

2.1.2 对叶片生长指标的影响 留茬高度对凤丹叶片生长指标的影响见表 2。由表 2 可以看出: 留茬 5 cm 处理组凤丹的比叶质量和单株叶面积最大, 分别

为 0.015 2 $g \cdot cm^{-2}$ 和 476.72 cm^2 , CK 组这 2 个指标最小, 分别为 0.014 1 $g \cdot cm^{-2}$ 和 395.46 cm^2 , 且 2 个组间差异显著; 留茬 15 cm 处理组的比叶质量和单株

叶面积以及留茬 10 cm 处理组的比叶质量与 CK 组间均差异不显著,留茬 10 cm 处理组的单株叶面积显著大于 CK 组。CK 组凤丹的比叶面积最大 ($71.5025 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$),留茬 15 cm 处理组的比叶面积次之 ($69.7343 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$),留茬 10 cm 处理组的比叶面积较小 ($68.0712 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$),留茬 5 cm 处理组的

比叶面积最小 ($66.4501 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$),且 CK 组以及留茬 15 和 10 cm 处理组的比叶面积均显著大于留茬 5 cm 处理组。

方差分析结果显示:各组间凤丹叶片的比叶质量、比叶面积、单株叶面积均无显著差异。

表 2 留茬高度对凤丹叶片生长指标的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 2 Effect of stubble height on leaf growth indexes of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

| 留茬高度/cm Stubble height | 比叶质量/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) Specific leaf mass | 比叶面积/($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) Specific leaf area | 单株叶面积/ cm^2 Leaf area per plant |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 15 | 0.014 2±0.000 9b | 69.734 3±2.081 4b | 410.68±43.67bc |
| 10 | 0.014 7±0.000 7ab | 68.071 2±3.146 6b | 424.37±50.12b |
| 5 | 0.015 2±0.000 9a | 66.450 1±3.238 6c | 476.72±48.66a |
| CK ²⁾ | 0.014 1±0.001 1b | 71.502 5±6.797 3a | 395.46±43.79c |

¹⁾ 同列中不同的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⁾ CK: 对照,未平茬处理 The control (no stumping treatment).

2.2 留茬高度对凤丹叶片光合生理指标的影响

2.2.1 对光合作用参数的影响 留茬高度对不同月份凤丹叶片光合作用参数的影响见表 3。由表 3 可以看出:5 月、6 月和 7 月,留茬 5 cm 处理组凤丹叶片的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 和水分利用效率 (WUE) 均最高,留茬 10 cm 处理组

次之,留茬 15 cm 处理组较低,CK (对照,未平茬处理)组最低,且留茬 5 cm 处理组和 CK 组间均差异显著 ($P < 0.05$)。在同一留茬高度处理组,随着时间的推移,凤丹叶片的 P_n 值呈逐渐降低的趋势,且整体来看, P_n 值在 6 月到 7 月的降幅大于 5 月到 6 月的降幅。在同一留茬高度处理组,随着时间的推移,凤

表 3 留茬高度对不同月份凤丹叶片光合作用参数的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 3 Effect of stubble height on leaf photosynthetic parameters of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang in different months ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

| 留茬高度/cm Stubble height | 5 月 May | | | |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| | $P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $T_r/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $G_s/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $WUE/(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$ |
| 15 | 14.440±0.620c | 1.970±0.190bc | 0.216±0.030ab | 7.330±0.330b |
| 10 | 15.087±0.502b | 2.094±0.213ab | 0.234±0.012a | 7.543±0.354ab |
| 5 | 17.028±1.156a | 2.153±0.127a | 0.241±0.036a | 7.940±0.785a |
| CK ²⁾ | 13.348±0.842d | 1.914±0.0903c | 0.194±0.063b | 6.975±0.350c |
| 留茬高度/cm Stubble height | 6 月 June | | | |
| | $P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $T_r/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $G_s/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $WUE/(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$ |
| 15 | 13.120±0.680b | 3.648±0.386b | 0.189±0.037bc | 3.596±0.483b |
| 10 | 13.525±0.772b | 3.774±0.437ab | 0.206±0.060ab | 3.721±0.531a |
| 5 | 14.327±1.257a | 3.897±0.495a | 0.226±0.026a | 3.753±0.601a |
| CK ²⁾ | 12.639±1.018c | 3.477±0.282c | 0.176±0.021c | 3.572±0.293b |
| 留茬高度/cm Stubble height | 7 月 July | | | |
| | $P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $T_r/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $G_s/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ | $WUE/(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$ |
| 15 | 10.220±0.210b | 4.435±0.712b | 0.158±0.022b | 2.304±0.350ab |
| 10 | 10.790±0.355b | 4.780±0.242ab | 0.165±0.009b | 2.347±0.251a |
| 5 | 11.979±1.028a | 5.061±0.825a | 0.199±0.026a | 2.409±0.346a |
| CK ²⁾ | 9.954±0.663c | 4.268±0.513b | 0.149±0.003b | 2.249±0.280b |

¹⁾ P_n : 净光合速率 Net photosynthetic rate; T_r : 蒸腾速率 Transpiration rate; G_s : 气孔导度 Stomatal conductance; WUE: 水分利用效率 Water use efficiency. 同列中不同的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⁾ CK: 对照,未平茬处理 The control (no stumping treatment).

丹叶片的 Tr 值呈逐渐升高的趋势,且整体来看,Tr 值在 5 月到 6 月的增幅大于 6 月到 7 月的增幅。凤丹叶片的 Gs 和 WUE 值的变化趋势与 Pn 值相似,在同一留茬高度处理组,随着时间的推移,均呈逐渐降低的趋势。

方差分析结果显示:5 月、6 月和 7 月,各组间凤丹叶片的 Pn、Tr、Gs 和 WUE 值均存在极显著差异。

2.2.2 对叶绿素含量的影响 留茬高度对不同月份凤丹叶片中叶绿素含量的影响见表 4。由表 4 可以

看出:5 月、6 月和 7 月,留茬 5 cm 处理组凤丹叶片中叶绿素含量均最高,留茬 10 cm 处理组次之,留茬 15 cm 处理组较低,CK 组最低,且留茬 5 cm 处理组和 CK 组间均存在显著差异;CK 组和留茬 15 cm 处理组凤丹叶片中叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量的比值 (Chla/Chlb)较大,留茬 5 和 10 cm 处理组较小。在同一留茬高度处理组,随着时间的推移,凤丹叶片中叶绿素含量呈逐渐降低的趋势,Chla/Chlb 值呈先增加后减小的趋势。

表 4 留茬高度对不同月份凤丹叶片中叶绿素含量的影响 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 4 Effect of stubble height on chlorophyll content in leaf of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang in different months ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

| 留茬高度/cm Stubble height | 5 月 May | | 6 月 June | | 7 月 July | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | Chl/(mg · g ⁻¹) | Chla/Chlb | Chl/(mg · g ⁻¹) | Chla/Chlb | Chl/(mg · g ⁻¹) | Chla/Chlb |
| 15 | 9.890±0.960bc | 2.690±0.140b | 9.357±0.462ab | 3.126±0.120ab | 8.062±0.724ab | 2.846±0.146b |
| 10 | 10.386±1.198b | 2.233±0.099c | 9.657±0.309ab | 3.042±0.160b | 8.292±0.504ab | 2.685±0.114bc |
| 5 | 12.502±1.562a | 2.503±0.162bc | 10.272±0.476a | 3.023±0.062b | 8.927±0.637a | 2.509±0.250c |
| CK ²⁾ | 9.277±0.610c | 3.098±0.181a | 8.911±0.814b | 3.301±0.150a | 7.841±0.386b | 2.950±0.117a |

¹⁾ Chl: 叶绿素含量 Chlorophyll content; Chla/Chlb: 叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量的比值 Ratio of chlorophyll a content to chlorophyll b content. 同列中不同的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⁾ CK: 对照,未平茬处理 The control (no stumping treatment).

方差分析结果显示:5 月、6 月和 7 月,各组间凤丹叶片中叶绿素含量存在极显著差异,而 Chla/Chlb 值无显著差异。

2.3 留茬高度对凤丹结实指标的影响

留茬高度对凤丹结实指标的影响见表 5。由表 5 可以看出:留茬 5 cm 处理组凤丹的果荚直径、单果荚籽粒数和百粒质量均最大,留茬 10 cm 处理组次之,留茬 15 cm 处理组较小,CK(对照,未平茬处理)组最小。留茬 5 cm 处理组凤丹的果荚直径、单果荚籽粒数和百粒质量分别为 7.5 cm、21.4 和 31.22 g,分别较 CK 组增加了 7.14%、15.05% 和 10.63%。CK 组凤丹的果荚数量和产量均最大,分别为 8.0 和

349.19 kg · hm⁻²,留茬 15 cm 处理组次之,留茬 10 cm 处理组较小,留茬 5 cm 处理组最小。

方差分析结果显示:各组间凤丹的果荚直径、单果荚籽粒数、百粒质量、果荚数量和产量均存在极显著差异。

2.4 平茬时间对凤丹生长指标的影响

2.4.1 对植株生长指标的影响 平茬时间对凤丹植株生长指标的影响见表 6。由表 6 可以看出:CK(对照,未平茬处理)组凤丹的株高最高(43.0 cm),11 月平茬处理组的株高次之(40.7 cm),2 月平茬处理组的株高最低(38.1 cm)。11 月平茬处理组凤丹的冠幅、新生枝的长度和基径以及单株新生枝数量最大,

表 5 留茬高度对凤丹结实指标的影响 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 5 Effect of stubble height on fruiting indexes of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

| 留茬高度/cm Stubble height | 果荚直径/cm Pod diameter | 单果荚籽粒数 Grain number per pod | 百粒质量/g 100-grain mass | 果荚数量 ³⁾ Pod number ³⁾ | 产量/(kg · hm ⁻²) Yield |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 15 | 7.1±0.3b | 19.5±0.4c | 28.59±0.98c | 7.1±0.9ab | 323.87±36.12ab |
| 10 | 7.2±0.3b | 20.5±0.6b | 29.07±1.78bc | 6.5±1.1b | 309.18±69.44b |
| 5 | 7.5±0.3a | 21.4±0.2a | 31.22±0.87a | 5.6±0.5c | 202.49±45.74c |
| CK ²⁾ | 7.0±0.2b | 18.6±0.4d | 28.22±1.56c | 8.0±0.8a | 349.19±65.11a |

¹⁾ 同列中不同的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⁾ CK: 对照,未平茬处理 The control (no stumping treatment).

³⁾ 果荚数量为凤丹 10 株植株果荚的总数 Pod number is total number of pods from ten individuals of *P. ostii*.

表6 平茬时间对凤丹植株生长指标的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 6 Effect of stumping time on plant growth indexes of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

| 平茬时间 Stumping time | 株高/cm Height | 冠幅/cm Crown width | 新生枝长度/cm New branch length | 新生枝基径/cm New branch basal diameter | 单株新生枝数量 New branch number per plant |
|-----------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
| 11月 November | 40.7±5.5ab | 45.9±4.6a | 34.9±5.2a | 0.848±0.076a | 1.6±0.6a |
| 2月 February | 38.1±5.1b | 44.7±5.1b | 31.6±4.7b | 0.823±0.062a | 1.4±0.5b |
| CK ²⁾ | 43.0±7.1a | 42.4±4.4c | 28.0±3.3c | 0.786±0.072a | 1.2±0.4c |

¹⁾ 同列中不同的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⁾ CK: 对照, 未平茬处理 The control (no stumping treatment).

2月平茬处理组次之, CK组最小, 且3个组间冠幅、新生枝长度和单株新生枝数量存在显著($P<0.05$)差异。11月平茬处理组凤丹的冠幅、新生枝的长度和基径以及单株新生枝数量分别为45.9 cm、34.9 cm、0.848 cm和1.6, 分别为CK组的1.08、1.25、1.08和1.25倍。

方差分析结果显示: 各组间凤丹的株高、冠幅、新生枝长度和单株新生枝数量均存在极显著差异, 而新生枝基径无显著差异。

2.4.2 对叶片生长指标的影响 平茬时间对凤丹叶片生长指标的影响见表7。由表7可以看出: 11月平茬处理组凤丹的比叶质量和单株叶面积最大, 2月平茬处理组次之, CK组最小; 而CK组凤丹的比叶面积最大, 2月平茬处理组次之, 11月平茬处理组最小。11月和2月平茬处理组凤丹的上述3个指标与CK组间存在显著差异。

方差分析结果显示: 各组间凤丹的比叶质量、比叶面积和单株叶面积均无显著差异。

表7 平茬时间对凤丹叶片生长指标的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 7 Effect of stumping time on leaf growth indexes of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

| 平茬时间 Stumping time | 比叶质量/($g \cdot cm^{-2}$) Specific leaf mass | 比叶面积/($cm^2 \cdot g^{-1}$) Specific leaf area | 单株叶面积/ cm^2 Leaf area per plant |
|-----------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 11月 November | 0.0148±0.0006a | 67.0786±2.5824b | 462.86±56.14a |
| 2月 February | 0.0146±0.0002a | 68.6732±1.2397b | 431.66±42.77b |
| CK ²⁾ | 0.0141±0.0011b | 71.5025±6.7973a | 395.46±43.79c |

¹⁾ 同列中不同的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⁾ CK: 对照, 未平茬处理 The control (no stumping treatment).

2.5 平茬时间对凤丹叶片光合生理指标的影响

2.5.1 对光合作用参数的影响 平茬时间对不同月份凤丹叶片光合作用参数的影响见表8。由表8可

以看出: 5月、6月和7月, 11月平茬处理组凤丹叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和水分利用效率(WUE)总体上最高, 2月平茬处理

表8 平茬时间对不同月份凤丹叶片光合作用参数的影响($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 8 Effect of stumping time on leaf photosynthetic parameters of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang in different months ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

| 平茬时间 Stumping time | 5月 May | | | |
|-----------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| | $P_n/(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ | $T_r/(mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ | $G_s/(mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ | $WUE/(\mu mol \cdot mmol^{-1})$ |
| 11月 November | 15.964±1.489a | 2.123±0.176a | 0.255±0.037a | 7.577±0.992a |
| 2月 February | 15.387±0.880a | 2.042±0.119a | 0.264±0.014a | 7.552±0.425a |
| CK ²⁾ | 13.348±0.842b | 1.914±0.090b | 0.194±0.063b | 6.975±0.350b |
| 平茬时间 Stumping time | 6月 June | | | |
| | $P_n/(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ | $T_r/(mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ | $G_s/(mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$ | $WUE/(\mu mol \cdot mmol^{-1})$ |
| 11月 November | 13.945±1.118a | 3.767±0.553a | 0.211±0.029a | 3.664±0.315a |
| 2月 February | 13.495±0.823a | 3.703±0.595a | 0.215±0.049a | 3.619±0.247a |
| CK ²⁾ | 12.639±1.018b | 3.477±0.282a | 0.176±0.021b | 3.572±0.293a |

续表8 Table 8 (Continued)

| 平茬时间 Stumping time | 7月 July | | | |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | Pn/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) | Tr/($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) | Gs/($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) | WUE/($\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$) |
| 11月 November | 11.419±1.004a | 4.940±0.654a | 0.208±0.026a | 2.255±0.174a |
| 2月 February | 10.790±0.267a | 4.453±0.602ab | 0.185±0.009b | 2.286±0.175a |
| CK ²⁾ | 9.954±0.663b | 4.268±0.513b | 0.149±0.003c | 2.249±0.280a |

¹⁾ Pn: 净光合速率 Net photosynthetic rate; Tr: 蒸腾速率 Transpiration rate; Gs: 气孔导度 Stomatal conductance; WUE: 水分利用效率 Water use efficiency. 同列中不同的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⁾ CK: 对照, 未平茬处理 The control (no stumping treatment).

组次之, CK (对照, 未平茬处理) 组最低。总体上看, 11月和2月平茬处理组凤丹叶片的光合作用参数显著 ($P < 0.05$) 高于 CK 组。在同一平茬时间处理组, 随着时间的推移, 凤丹叶片的 Pn、Gs 和 WUE 值呈逐渐减低的趋势, Tr 值呈逐渐升高的趋势。

方差分析结果显示: 5月、6月和7月, 各组间凤丹叶片的 Pn、Tr、Gs 和 WUE 值均无显著差异。

2.5.2 对叶绿素含量的影响 平茬时间对不同月份凤丹叶片中叶绿素含量的影响见表9。由表9可以看出: 5月、6月和7月, 11月和2月平茬处理组凤丹叶片中叶绿素含量高于或显著高于 CK 组。5月和

6月, 11月和2月平茬处理组凤丹叶片的叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量的比值 (Chla/Chlb) 小于 CK 组; 7月, 2月平茬处理组的 Chla/Chlb 值较大, 11月平茬处理组的 Chla/Chlb 值居中, 2月平茬处理组的 Chla/Chlb 值较小。在同一平茬时间处理组, 随着时间的推移, 凤丹叶片中叶绿素含量呈逐渐降低的趋势。随着时间的推移, 11月平茬处理组和 CK 组凤丹叶片的 Chla/Chlb 值呈先增大后减小的趋势, 2月平茬处理组的 Chla/Chlb 值呈逐渐增大的趋势。

方差分析结果显示: 5月、6月和7月, 各组间凤丹叶片的叶绿素含量和 Chla/Chlb 值均无显著差异。

表9 平茬时间对不同月份凤丹叶片中叶绿素含量的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾Table 9 Effect of stumping time on chlorophyll content in leaf of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang in different months ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

| 平茬时间 Stumping time | 5月 May | | 6月 June | | 7月 July | |
|-----------------------|-----------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|
| | Chl/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | Chla/Chlb | Chl/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | Chla/Chlb | Chl/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | Chla/Chlb |
| 11月 November | 11.014±1.529a | 2.363±0.207b | 9.741±1.411a | 3.137±0.171a | 8.180±1.509a | 3.014±1.529a |
| 2月 February | 11.548±1.969a | 2.756±0.099b | 9.861±0.552a | 3.144±0.142a | 8.043±0.684a | 3.548±1.969a |
| CK ²⁾ | 9.277±0.610b | 3.098±0.181a | 8.911±0.814b | 3.301±0.150a | 7.841±0.386a | 2.950±0.117a |

¹⁾ Chl: 叶绿素含量 Chlorophyll content; Chla/Chlb: 叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量的比值 Ratio of chlorophyll a content to chlorophyll b content. 同列中不同的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⁾ CK: 对照, 未平茬处理 The control (no stumping treatment).

2.6 平茬时间对凤丹结实指标的影响

平茬时间对凤丹结实指标的影响见表10。由表10可以看出: 11月平茬处理组凤丹的果荚直径、单果

荚籽粒数和百粒质量最大, 2月平茬处理组次之, CK (对照, 未平茬处理) 组最小, 且3个组间总体上存在显著 ($P < 0.05$) 差异。11月平茬处理组凤丹的果荚直

表10 平茬时间对凤丹结实指标的影响 ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾Table 10 Effect of stumping time on fruiting indexes of *Paeonia ostii* T. Hong et J. X. Zhang ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

| 平茬时间 Stumping time | 果荚直径/cm Pod diameter | 单果荚籽粒数 Grain number per pod | 百粒质量/g 100-grain mass | 果荚数量 ³⁾ Pod number ³⁾ | 产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Yield |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 11月 November | 7.3±0.2a | 20.8±0.4a | 29.72±1.03a | 6.6±0.6b | 289.54±52.12b |
| 2月 February | 7.2±0.3ab | 19.7±0.4b | 29.03±1.78b | 6.3±1.0b | 267.49±35.66b |
| CK ²⁾ | 7.0±0.2b | 18.6±0.4c | 28.22±1.56c | 8.0±0.8a | 349.19±65.11a |

¹⁾ 同列中不同的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⁾ CK: 对照, 未平茬处理 The control (no stumping treatment).

³⁾ 果荚数量为凤丹10株植株果荚的总数 Pod number is total number of pods from ten individuals of *P. ostii*.

径、单果荚籽粒数和百粒质量分别为 7.3 cm、20.8 和 29.72 g, 分别为 CK 组的 1.04、1.12 和 1.05 倍。CK 组凤丹的果荚数量和产量最大, 分别为 8.0 和 349.19 kg·hm⁻², 11 月平茬处理组次之, 2 月平茬处理组最小, 且 CK 组显著大于 11 月和 2 月平茬处理组, 但后 2 个组间无显著差异。

方差分析结果显示: 各组间凤丹的果荚直径、单果荚籽粒数、百粒质量、果荚数量和产量均存在极显著差异。

3 讨论和结论

本研究中, 与未平茬处理相比, 平茬后凤丹的冠幅、新生枝长度和单株新生枝数量明显增加, 表明平茬能够促进凤丹生长, 有助于凤丹生物量的提高。留茬高度会影响植株生长状况已经得到大量的研究证实, 许多植物在地上组织被破坏后会进行补偿性生长, 如在柠条和沙棘^[11-13]中都有发现。本研究中, 平茬去除凤丹老枝的顶芽, 打破顶端优势, 促进下位芽以及根颈处不定芽的萌发, 并且单株新生枝数量随着平茬高度的降低而显著增加, 其中留茬 5 cm 处理组凤丹的单株新生枝数量最多。同时, 植株的物质分配发生改变, 更多养分被用于枝叶生长, 有效增加了新生枝的数量和长度, 并扩大了冠幅, 改善了枝叶内部的通风和透光条件, 有利于塑造合理的株型^[14], 对提高以新生枝为结果枝的凤丹产量奠定了基础。本研究结果表明: 留茬 5 cm 处理组凤丹的冠幅和单株新生枝数量显著增加, 扩大了植株的生存竞争空间, 为后期植株的生长和结实提供更多的生长空间。

叶绿素含量能够反映植物的光合能力。本研究中, 平茬处理后凤丹叶片中叶绿素含量大于未平茬处理, 说明平茬增加了叶片叶肉细胞的光合能力, 有利于有机物的积累^[15]。叶片为植物光合作用进行有机物积累的主要场所, 叶绿素含量、单株叶面积和比叶质量的大小是衡量叶片发育和生理功能的重要指标^[16-17]。平茬处理后凤丹叶片的叶绿素含量、单株叶面积和比叶质量均大于未平茬处理, 且随着留茬高度的降低而增大, 以留茬 5 cm 处理最大。随着叶面积增大, 植株有更充分的生长空间和接收光的叶片, 改善了植株冠层结构, 凤丹的冠幅增大也印证了这一结果。叶片对植株的光合作用有直接影响。多数情况下, 比叶质量随光照强度的增加而增大, 光照条件

好, 叶片的净光合速率(Pn)高, 碳同化积累的有机物较多, 叶片密度越大^[18]。植物叶片叶绿素 a 含量与叶绿素 b 含量的比值(Chla/Chlb)越小, 植株的耐寒能力越强^[15]。平茬处理后, 凤丹叶片的 Chla/Chlb 值较未平茬处理减小, 且总体上随着留茬高度的降低而减小, 说明平茬处理可以增强凤丹的耐寒能力。本研究中, 平茬处理后凤丹叶片的 Pn 值、气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)总体上显著高于未平茬处理, 且随留茬高度的降低而升高, 以留茬 5 cm 处理最大。由于平茬改变了根冠比, 导致库源关系变化, 清除了消耗资源的部分非结果枝, 为剩余组织提供了有利生长条件, 植株的光合能力增强, 加速了植株的光合再循环。水分利用效率(WUE)反映了植物生产过程中单位水分的能量转化效率, 受蒸腾速率和光合速率共同影响。在相同环境下, WUE 值越大, 表明植株积累有机物所需要的水分越少, 植物的耐旱能力增强^[7]。平茬处理后, 凤丹叶片的 WUE 值较未平茬处理升高, 且随着留茬高度的降低而升高, 说明平茬处理可以增强凤丹的耐寒能力。这一结论与凤丹叶片 Chla/Chlb 值的结论一致。

平茬可调整植株的营养分配, 提高植株的光能利用率, 从而在不同程度上提高植株的产量和果实品质^[19-20]。本研究中, 平茬对凤丹当年结实的影响较大, 虽然以未平茬处理的产量和果荚数量最大, 但平茬处理的果荚品质明显优于未平茬处理, 这是由于平茬破坏了地上部分的平衡, 植株会进行补偿性生长, 养分更多的向枝叶转移, 因而营养生长增多, 生殖生长相对较少。随着留茬高度的降低, 凤丹产量和果荚数量随之降低, 但果荚直径、单果荚籽粒数和百粒质量都明显增大。其中, 留茬 5 cm 处理中凤丹的果荚品质最好, 与光合作用参数的结果相一致, 说明 Pn 值大, 叶绿素含量高, 比叶质量增大, 积累的有机物增多, 植株生长量增大, 从而获得较优质的果实。综合研究结果显示: 留茬 5 cm 处理中凤丹的单株新生枝数量最多, 虽然当年果实数量少, 但增加了地上一级分枝数量, 为次年花芽提供了更多的生长空间, 也为次年产量的增加提供了可能。

本研究中, 11 月平茬处理中凤丹的生长指标、叶片光合生理指标和结实指标总体上高于 2 月平茬处理, 且 2 个处理间冠幅、新生枝长度、单株新生枝数量、单株叶面积、单果荚籽粒数和百粒质量均存在显著差异。推测原因为休眠期状态下平茬对植物造成

的伤害较低,而春季萌动前植物即将开始新一轮生长,此时平茬后随着气温逐渐升高植株水分流失较大,而且在实验地每年春季倒春寒对平茬后的枝条有抽干影响,新生枝生长受到了一定的抑制,植株生长受到较大影响。11月平茬处理中凤丹生长指标中的冠幅、单株新生枝数量、比叶质量和单株叶面积等较大,植株的光合面积也会相对较大,因而固定的光合产物增多,从而促进凤丹果荚直径、单果荚籽粒数、百粒质量、果荚数量和产量的增加。

综上所述,平茬措施有利于凤丹塑造合理的株型,改善通风透光条件,增强光合效率,达到优产和高产的效果,并以留茬高度5 cm及11月平茬处理最优。但由于本文仅对平茬凤丹当年的生长、光合生理和结实指标进行了测定,难以揭示平茬对成年凤丹的具体影响,因此,要全面弄清凤丹平茬措施的影响机制,还需要持续观测,开展更深入的研究工作。

参考文献:

- [1] 刘立波,孟庆彬,张志环,等.平茬对胡枝子萌生枝条生长及产量的影响[J].林业科技开发,2012,26(4):123-126.
- [2] 王学梅,谢华,崔静英,等.平茬时间和平茬高度对日光温室茄子长季节再生的影响[J].安徽农业科学,2011,39(36):22249-22250,22334.
- [3] 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):1327-1336.
- [4] 董雪,高永,虞毅,等.平茬措施对天然沙冬青生理特性的影响[J].植物科学学报,2015,33(3):388-395.
- [5] 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.
- [6] 史国安,焦封喜,焦元鹏,等.中国油用牡丹的发展前景及对策[J].中国粮油学报,2014,29(9):124-128.
- [7] 杨静萱,吉文丽,刘玲,等.株行距配置对油用牡丹‘凤丹’生长发育及产量的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(6):202-208.
- [8] 谢虹,马骏.昆明地区‘凤丹’牡丹植株开花相关的生物学特性[J].西部林业科学,2017,46(5):99-105.
- [9] 张志良,翟伟菁,李小方.植物生理学实验指导[M].4版.北京:高等教育出版社,2009:54-60.
- [10] 赵选民,徐伟,师义民,等.数理统计[M].2版.北京:科学出版社,2002:186-194.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 党晓宏,高永,汪季,等.沙棘林能源价值及平茬复壮技术研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(2):176-180.
- [14] 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.
- [15] 宋碧玉,周兰英,蒲光兰,等.修剪对蜡梅光合作用和叶片解剖特征的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2017,43(5):533-538.
- [16] 王刚,袁德义,邹锋,等.修剪强度对锥栗叶片生理及产量的影响[J].植物生理学报,2017,53(2):264-272.
- [17] 张翔,翟敏,徐迎春,等.不同修剪措施对薄壳山核桃枝条生长及枝条和叶片碳氮代谢物积累的影响[J].植物资源与环境学报,2014,23(3):86-93.
- [18] 王开良,姚小华,申巍,等.修剪措施对油茶枝条和叶片生长及营养元素的影响[J].东北林业大学学报,2016,44(7):13-18.
- [19] 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(1): 15-22.
- [20] 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.

(责任编辑:张明霞)