

不同肥料处理下蓝蓟光合特性日变化的研究

徐惠风¹, 金 桥¹, 薛国艳², 王淑琴³, 朱景辉⁴, 张 岩¹, 唐玉娇¹

(1. 吉林农业大学, 长春 130118; 2. 吉林省临江市职业教育中心, 吉林 临江 134600; 3. 吉林省桦甸市农业技术推广站, 吉林 桦甸 132400; 4. 吉林省公主岭市范家屯镇农业技术推广站, 吉林 范家屯 136105)

摘 要:本研究采用 Li-6400 型光合测定仪对 N、P、K 肥料处理下蓝蓟的光合特性指标进行测定和分析, 了解其光合特性日变化的规律。结果表明: 在 N、P、K 处理下蓝蓟光合日变化曲线发生变化, N、P 单峰曲线, K 双峰曲线, 3 种肥料处理光合速率最大值为 K 处理下的净光合速率呈现双峰曲线最大值 $22.364 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 出现在上午 10:00; 光合速率与光合特性参数相关性表现为均不呈显著性, 而光合特性参数之间却呈极显著相关。说明光合速率日变化受其光合特性参数综合因素的影响。K 素通过影响胞间 CO_2 浓度 (C_i) 而导致光合速率日变化出现双峰曲线, 通过方差分析得知 K 素方差最小 (4.14) 和极值最小 (2.51)。N、P 肥料不出现光合午休可能对蓝蓟高产栽培技术提供理论支撑。

关键词: 蓝蓟; 肥料; 净光合速率; 日变化

中图分类号: S565.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-8701(2018)02-0010-06

Diurnal Variation of Photosynthetic Characteristics of *Echium vulgare* under Different Fertilizer Treatments

XU Huifeng¹, JIN Qiao¹, XUE Guoyan², WANG Shuqin³, ZHU Jinghui⁴, ZHANG Yan¹, TANG Yujiao¹

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Linjiang City Vocational Education Center of Jilin Province, Linjiang 134600; 3. Huadian City Agricultural Technology Extension Station of Jilin Province, Huadian 132400; 4. Gongzhuling City Fanjiatun Town of Agricultural Technology Extension Station of Jilin Province, Fanjiatun 136105, China)

Abstract: The photosynthetic characteristics of *Echium vulgare* under different N, P and K fertilizer treatments were measured and analyzed by using Li-6400 type photosynthetic apparatus to understand the regularity of diurnal variation of photosynthetic characteristics of *Echium vulgare*. The result showed that photosynthetic diurnal variation curve of *Echium vulgare* changed under different N, P and K treatments. N and P were single peak curve, but K was a bimodal curve. The maximum photosynthetic rate of the three fertilizer treatments was K, and its maximum of bimodal curve of the net photosynthetic rate was $22.364 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ at 10:00 am. The correlation between photosynthetic rate and photosynthetic parameters showed no significant difference. However, there was a significant correlation between photosynthetic parameters. It showed that the diurnal variation of photosynthetic rate was affected by the combined factors of the photosynthetic characteristic parameters. K results in diurnal variation of photosynthetic rate in bimodal curve was affected by intercellular CO_2 concentration (C_i). By variance analysis, the variance of K variance was smallest (4.14) and the minimum was 2.51. N and P did not appear midday depression of photosynthesis, and could provide theoretical support for high-yield cultivation techniques of *Echium vulgare*.

Key words: *Echium vulgare*; Fertilizer; Net photosynthetic rate; Daily variation

收稿日期: 2017-10-28

基金项目: 吉林省科技厅重点攻关项目 (20150204012NY、20130206072NY); 长春市科技局项目 (2014196); 吉林省教育厅项目 (JJ-KH20170312KJ)

作者简介: 徐惠风 (1965-), 女, 教授, 博士, 研究方向为作物栽培生理生态、湿地生态环境。

蓝蓟 (*Echium vulgare* L.) 是紫草科一种油料作物, 主要分布于欧亚两洲, 后传入美洲, 在我国新疆有野生, 地中海及欧洲甚多。一般认为进化过程是花色白→花色黄→花色蓝紫^[1-2]。性喜阳光, 不耐湿热, 宜疏松肥沃、排水良好、土层深厚的砂质壤土, 也耐瘠土。种子富含 omega3 脂肪酸, 促进细胞再生, 作用于炎症使细胞间交换更加通畅。蓝蓟油是当今 SDA 含量最丰富的天然油脂, SDA 属于 Omega3 基础脂肪酸, 对皮肤自身的抗过敏调节过程起到重要作用。

光合作用是植物的生理基础, 也是植物能否高产的重要影响因素之一^[3], 它受外界环境和内部因素的限制, 如光照强度^[4]、种植方式^[5]、养分含量^[6]等。土壤营养元素是五大生态因子之一, NPK 对作物生长具有重要的作用, 不同元素对作物产量影响不同, 因为光合作用是一个复杂的生物物理化学过程^[7], 所以研究蓝蓟光合特性指标及外部环境(气候因子和土壤元素 NPK 因子)对其影响, 揭示光合作用与环境因子的关系对实现高产、稳产、优质具有重要的意义。通过研究 N、P、K 相同配比下的不同施用量对蓝蓟花期的光合特性指标进行测定和分析, 为进一步提高蓝蓟需肥高产栽培的研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况及试验设计

1.1.1 试验基地概况

试验于 2015 年进行, 试验地在吉林省长春市 (43°53'N, 125°10'E) 吉林农业大学试验基地, 该区年平均温度 4.6℃左右, 年平均降雨量 567 mm, ≥10℃的有效积温 2 860℃·d, 无霜期 140 d。供试土壤为黑壤土, 该试验地地势平整, 排灌方便, 前茬为玉米, 基础肥力为: 有机质 26.9 mg/kg, 速效磷 16.5 mg/kg, 速效钾 122 mg/kg, 碱解氮 120 mg/kg, 全氮 2.645 g/kg, pH 值 6.8。

1.1.2 试验设计

4 月中旬整地划区, 5 月 1 日播种, 开沟手播。小区设计为长 5 米宽 4 米的小区 30 个, 起 6 垄, 5 垄种植蓝蓟, 1 垄为保护行。设置肥料因子为 F 共 3 个水平, 即 F 低 (N: 150 kg/hm²、P₂O₅: 100 kg/hm²、K₂O: 50 kg/hm²); F 中 (N: 300 kg/hm²、P₂O₅: 200 kg/hm²、K₂O: 100 kg/hm²); F 高 (N: 450 kg/hm²、P₂O₅: 300 kg/hm²、K₂O: 150 kg/hm²)。肥料处理: 试验采用随机区组设计, 其中 50% 作底肥, 50% 追肥, 密度为 25 cm。每个处理 3 次重复。

1.2 指标测定

1.2.1 光合特性指标的测定

采用 Li-6400 型光合测定仪, 选择蓝蓟花期 (7 月 18 日) 无风晴朗的天气, 在每种处理中随机选择具有代表性的活体植株进行不离体、不损伤叶片生理功能的测定。测定其完全展开叶的净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (Gs)、胞间 CO₂ 浓度 (Ci)、空气温度 (Ta)、叶片温度 (T_l)、空气 CO₂ 浓度 (Ca) 和空气相对湿度 (RH)。水分利用效率 (WUE) 按照 $WUE = Pn/Tr$ 求得, 表观叶肉导度 (ALMC) 按照 $ALMC = Pn/Ci$ 求得, 气孔限制值 (Ls) 按照 $Ls = Ci/Ca$ 求得。

测定从 8:00 ~ 16:00 进行, 每隔 2 h 测定 1 次, 每次每个处理取 3 株, 上、中、下 3 个部分各取 1 张叶片进行测量, 取平均值。采用 Li-6400-02B LED 红蓝光源作固定光源, 并通过光响应曲线和光饱和值设定光照强度为 1 200 μmol/(m²·s)。

1.2.2 数据处理与分析

所有数据均为多次重复的平均值。采用 DPS 7.05 和 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析, 利用 Duncan 新复极差法进行显著性测验, 采用 Excel 2003 绘图。

2 结果与分析

2.1 蓝蓟光合特性的日变化

2.1.1 净光合速率 (Pn) 的日变化比较

由图 1 可以看出, N 处理下的净光合速率曲线最大值 21.167 μmol(CO₂)/(m²·s) 出现在 10:00, 12:00 以后呈缓慢上升趋势。P 处理下的净光合速率曲线出现单峰曲线, 最大值 21.163 μmol(CO₂)/(m²·s) 出现在 10:00, 其后呈下降趋势。K 处理下的净光合速率呈现双峰曲线, 最大值 22.364 μmol(CO₂)/(m²·s) 出现在 10:00, 12:00 时出现“午休”现象, 14:00 出现

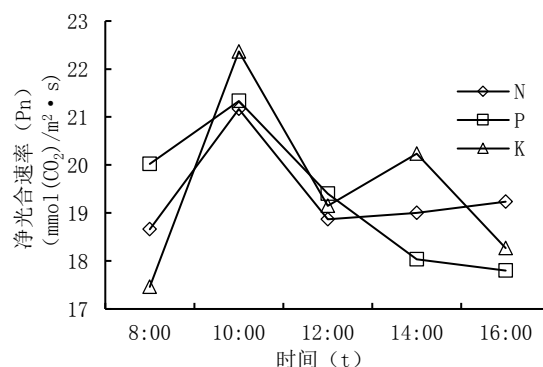


图 1 3 种不同肥料处理蓝蓟叶片净光合速率 (Pn) 的日变化曲线

第二个高峰值 $20.233 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 14:00 ~ 16:00 缓慢下降, 最小值 $17.46 \mu\text{mol}(\text{CO}_2)/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 出现在 8:00。

2.1.2 蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)的日变化比较

各个处理的 T_r 值均呈单峰曲线, 最大值均出现在 12:00, 最小值均出现在 8:00 (见图 2)。3 种

元素中蒸腾速率日变化与光合速率日变化曲线 N 素完全一致, K 不同。

各个处理下的 G_s 值基本呈单峰曲线, 最大值均出现在 12:00, 最小值均出现在 8:00。在肥料处理中最大值 $0.385 \text{ mmol}(\text{H}_2\text{O})/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 出现在 K 肥料的处理下 (见图 2)。气孔导度变化趋势与蒸腾速率一致, 与 P 素光合速率一致。

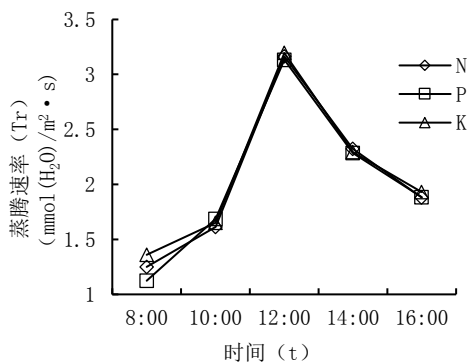


图2 不同处理下蓝莓叶片蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)日变化曲线

2.1.3 胞间 CO_2 浓度(C_i)和空气 CO_2 浓度(C_a)的日变化比较

如图 3a 所示, 3 种肥料处理的 C_i 最大值均出现在 12:00, 最小值 N、P 处理出现在 8:00; 而 K 处理出现在 10:00, 并且 8:00 时的 C_i 值为 $118.8 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

N、P 素胞间 CO_2 浓度(C_i)在 12:00 后下降, K 素 14:00 出现一个次低点, 而光合速率在此时达到一个小高峰, 说明 CO_2 浓度(C_i)此刻是导致 K 素光合速率出现次峰的主要原因。

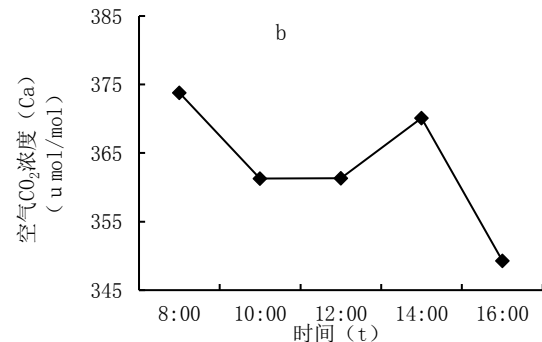
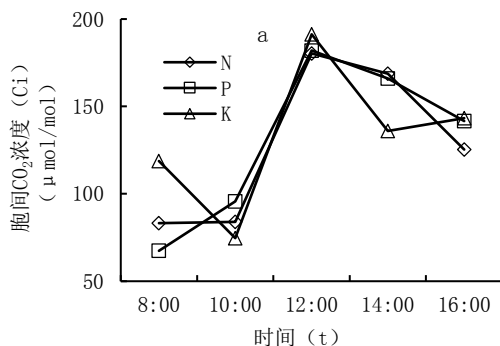


图3 3种不同肥料处理蓝莓叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)和空气 CO_2 浓度(C_a)日变化曲线

2.1.4 环境因子的日变化

2.1.4.1 空气 CO_2 浓度(C_a)的日变化

8:00 时空气中 CO_2 浓度最高为 $371.39 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 8:00 ~ 10:00 之间空气中 CO_2 浓度下降, 10:00 ~ 12:00 浓度平稳, 12:00 ~ 14:00 略有升高, 14:00 出现第二高峰值为 $366.86 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 16:00 出现最小值为 $349.53 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。全天变化为双峰曲线 (见图 3b)。空气中 CO_2 浓度与胞间 CO_2 浓度(C_i)趋势基本一致。

2.1.4.2 空气相对湿度(RH)和空气温度(T_a)日变化

空气温湿度曲线相反, 8:00 是空气温度最低点, 是空气湿度最高点。12:00 是空气温度最高点, 是空气湿度最低点 (见图 4)。

2.1.4.3 空气温度(T_a)和蓝莓叶片温度(T_l)的日变化比较

由表 1 可以看出, 蓝莓叶片温度(T_l)与空气温度(T_a)表现为极显著相关性, 同时达到高峰, 同时到达低谷。

表 1 蓝莓叶片温度(T_l)和空气温度(T_a)之间的相关性分析

	N	P	K
相关系数 r	1.00**	0.95**	0.94**

注:*表示 $P<0.05$, **表示 $P<0.01$

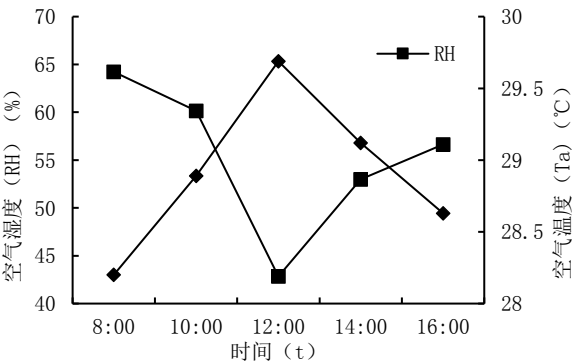


图 4 空气相对湿度(RH)和空气温度(T_a)日变化曲线

2.1.5 表观叶肉导度(ALMC)的日变化比较

由图 5 可以看出,K 素的表观叶肉导度的日变化与胞间 CO_2 浓度(C_i)一致,与光合日变化一致。

2.1.6 气孔限制值(L_s)的日变化比较

K 素在 12:00 最高,14:00 出现低谷,受胞间 CO_2 浓度(C_i)影响(见图 6)。

2.1.7 水分利用效率(WUE)的日变化比较

由图 6 可以看出,K 素在 12:00 最低,14:00 明显高于 N、P 素。

2.2 不同处理的蓝莓光合特性之间的相关性分析

由表 2、表 3、表 4 可以看出,气孔导度(G_s)和

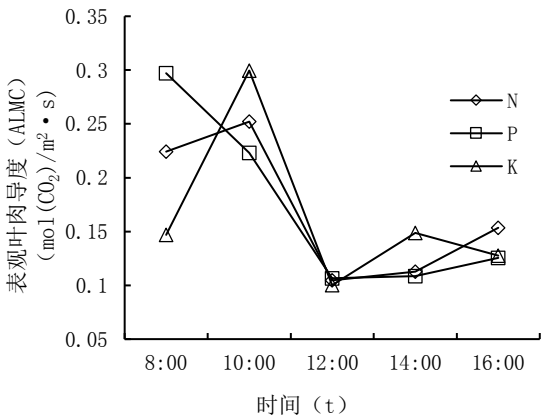


图 5 3 种不同肥料处理蓝莓叶片表观叶肉导度(ALMC)日变化曲线

蒸腾速率(Tr)呈极显著正相关,与胞间 CO_2 浓度(C_i)在 N 表现为极显著相关,P、K 表现为显著相关,水分利用效率(WUE)与 Tr 在 N、P、K 处理中成极显著负相关;与 C_i 在肥料 P 和 K 处理中表现为显著和极显著负相关;与表观叶肉导度(ALMC)在肥料 K 处理中表现为不显著相关;与气孔限制值(L_s)在处理中均表现为极显著负相关。ALMC 与 G_s 在肥料 N 处理中呈显著负相关;与 C_i 在肥料 K 处理中表现为显著负相关,在其余处理中均表现为极显著负相关;与 Tr 在肥料 K 处理中表现为不显著负相关,在其余处理中表现为显著负相关。 L_s 与 G_s 在肥料 N 处理中呈极显著相关,在其余处理中呈显著相关;与 C_i 在各处理中均表现为极显著相关;与 Tr 在肥料 N 和 P 处理中表

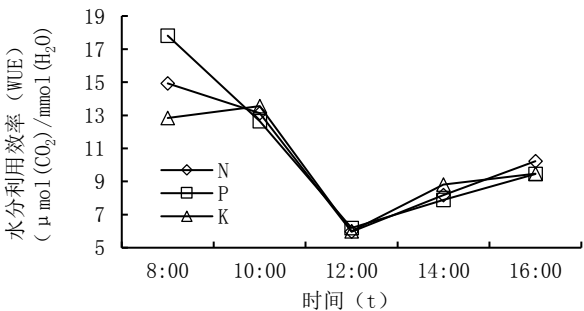
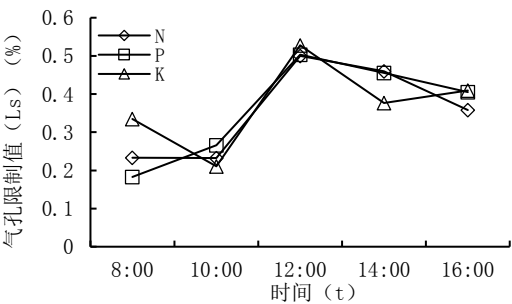


图 6 3 种不同肥料处理蓝莓叶片气孔限制值(L_s)和水分利用效率(WUE)日变化曲线

表 2 肥料是 N 时净光合速率与其它光合特性指数之间的相关性分析

相关系数	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_2	-0.38					
X_3	-0.48	0.98**				
X_4	-0.28	0.98**	0.93**			
X_5	0.320	-0.98**	-0.97**	-0.97**		
X_6	0.620	-0.92*	-0.97**	-0.84*	0.93**	
X_7	-0.49	0.98**	1.00**	0.93**	-0.98**	-0.98**

表3 肥料是P时净光合速率与其它光合特性指数的相关分析

相关系数	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
X ₂	-0.26					
X ₃	-0.62	0.90*				
X ₄	-0.31	1.00**	0.93**			
X ₅	0.53	-0.88*	-0.98**	-0.92**		
X ₆	0.68	-0.79	-0.97**	-0.84*	0.98**	
X ₇	-0.63	0.89*	1.00**	0.92**	-0.98**	-0.98**

表4 肥料是K时净光合速率与其它光合特性指数的相关分析

相关系数	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
X ₂	-0.04					
X ₃	-0.53	0.85*				
X ₄	0.03	0.99**	0.83*			
X ₅	0.24	-0.91*	-0.94**	-0.93**		
X ₆	0.81	-0.54	-0.90*	-0.52	0.75	
X ₇	-0.55	0.84*	1.00**	0.81*	-0.93**	-0.91*

注:其中X₁是净光合速率(Pn),X₂是气孔导度(Gs),X₃是胞间CO₂浓度(Ci),X₄是蒸腾速率(Tr),X₅是水分利用效率(WUE),X₆是表观叶肉导度(ALMC),X₇是气孔限制值(Ls)。*表示P<0.05,**表示P<0.01

现为极显著相关。

3 讨论和结论

对蓝莓的光合特征参数的测定表明叶片的净光合速率不只与蒸腾速率、气孔导度、胞间CO₂浓度等有关,也受环境的影响^[8-10]。

(1)很多研究表明:“午休”现象与光照、气温和湿度等环境因素有关^[11],强光、高温、低湿可能是造成该现象的原因,也可能与栽培技术有关系^[12-14]。该研究从相关性表现为净光合速率与气孔导度、蒸腾速率和气孔限制值均不表现为显著相关;与胞间CO₂浓度表现也不显著相关,与水分利用效率和表观叶肉导度表现也不显著负相关,肥料处理中净光合速率和其它特征指标之间差异没有达到显著水平。

说明通过肥料处理后蓝莓的光合作用受气孔导度、蒸腾速率、胞间CO₂浓度以及水分利用效率、表观叶肉导度影响不大,但光合作用的特征参数之间是显著相关的。说明光合日变化受光合特征指标综合影响,而非单一因素的影响。

(2)在肥料的处理中净光合速率曲线最大值均出现在10:00,K处理表现为双峰曲线,而N、P处理则表现为单峰曲线,这与施用钾肥的大豆相似,光合速率也呈现双峰变化曲线,说明K肥对净光合速率的二次升高是提高胞间CO₂浓度(Ci)所致。

(3)在各肥料处理中净光合速率最大值22.364μmol(CO₂)/(m²·s)出现在K肥处理的10:00;全天平均净光合速率最大值19.50μmol(CO₂)/(m²·s)也是出现在K处理中;方差最小(4.14)和极值最小(2.51)的是K肥处理。K素可以提高光合速率,增加作物的产量^[15],为蓝莓高产栽培提供可靠的理论支撑。

参考文献:

- [1] 王文采,刘玉兰,朱格麟,等.中国植物志[M].北京:科学出版社,1989:66.
- [2] 中国科学院植物研究所.中国高等植物图鉴[M].北京:科学出版社,1985:555.
- [3] 张敏.不同花生品种(系)的几个生理生化特性与品质、产量的关系初探[D].南宁:广西大学,2005.
- [4] Du Z C, Yang Z G, Cui X Y. Study on photosynthetic physiological ecology of plants in typical steppe zone[J]. Grassland of China, 1999(3): 20-27.
- [5] 孙永杰.光照强度对板栗生长发育及光合作用的影响[J].吉林农业科学,2012,37(3):49-51.
- [6] 李瑞平,刘武仁,郑金玉,等.种植方式对玉米单株叶片光合性能及产量的影响[J].吉林农业科学,2013,38(3):9-11.
- [7] 李尚霞,迟玉成,杨吉顺,等.磷肥不同用量对蓖麻光合作用和产量的影响[J].吉林农业科学,2013,38(2):55-67.
- [8] 徐惠风,刘兴土.人工湿地园沼泽植物水蓼(*Polygonum hydropiper* L.)的蒸腾特性日变化[J].植物资源与环境学报,2004,13(1):12-15.
- [9] 徐惠风,刘兴土,徐克章.乌拉苔草光合速率日变化及日同化量[J].湿地科学,2004,2(2):128-132.
- [10] 徐惠风,刘兴土.沼泽植物泽泻气孔导度日变化的研究[J].

- 生态科学,2003,22(3):218-221.
- [11] 陈贤田,柯世省. 茶树光合“午休”的原因分析[J]. 浙江林业科技,2002,22(33):80-83.
- [12] 徐惠风,魏龙雪,高志新. 种植密度对蓝蓟光合特性和产量的影响[J]. 北方园艺,2014(10):1-5.
- [13] 徐惠风,冯政东,杨 溢. 蓝蓟(*Echium vulgare* L.)不同密度光合日变化的研究[J]. 吉林农业科学,2014,39(6):89-94.
- [14] 牟忠生,吴春胜,李 楠. 钾肥对大豆生理特性及其产量和品质的影响[J]. 吉林农业科学,2011,36(3):30-33.
- [15] 徐 博,刘 卓,王英哲,等. 氮、磷、钾肥对紫花苜蓿草产量的影响[J]. 吉林农业科学,2015,40(6):47-50.
- (责任编辑:王 昱)