

氮磷钾配方施肥对 鸦胆子幼苗光合特性的影响

李 林 锋

(广东海洋大学 农学院,广东 湛江 524088)

摘要:以鸦胆子为试验材料,采用“3414”不完全正交回归设计,通过盆栽方法,研究了氮、磷、钾不同施肥方案对鸦胆子幼苗叶片叶绿素含量及光合特性的影响。结果表明:叶绿素含量随着氮肥施用量的增加而呈递增趋势,在中氮水平叶绿素含量最高,之后随着施肥量的增加,叶绿素含量开始下降。鸦胆子幼苗叶片净光合速率随氮肥施用量的增加而增加,磷、钾肥对叶片净光合速率的影响与叶绿素相似。虽然氮、磷、钾肥之间互作效应不明显,但鸦胆子幼苗叶片净光合速率的大小受氮肥施用量的影响较大。

关键词:鸦胆子;氮肥;磷肥;钾肥;光合特性

中图分类号:Q945.79 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2010)06-1136-06

Effects of Formulated Fertilizer on Photosynthetic Characteristics of *Brucea javanica* Seedlings

L I L i n - f e n g

(College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract *Brucea javanica* (L.) Merr was used as plant material to study the effects of N, P and K formulated fertilization on its chlorophyll content and photosynthesis through pot-planting with “3414” incomplete regression-orthogonal design. The results showed that the chlorophyll content in the leaves of *Brucea javanica* seedlings increased with the increasing dosage of nitrogen. The chlorophyll content was the highest in the medium level of nitrogen treatment, then it dropped with the increasing dosage of nitrogen. The photosynthetic rate also increased with the increasing dosage of nitrogen, the effects of phosphorus and potassium on photosynthetic rate were similar to chlorophyll. No obvious interactions were found between nitrogen and phosphorus, nitrogen and potassium, phosphorus and potassium, respectively, however, the value of the net photosynthetic rate was greatly influenced by nitrogen dosage.

Key words *Brucea javanica*; nitrogen fertilizer; potassium fertilizer; phosphorus fertilizer; photosynthetic characteristics

鸦胆子 [*Brucea javanica* (L.) Merr] 是苦木科植物鸦胆子的成熟果实,始载于《本草纲目拾遗》又名老鸦胆、苦参子^[1]。由于发现其种子油乳中含有抗肿瘤的活性物质,故临床上常用来治疗各种恶性肿瘤^[2-3]。该药材主产于我国南方沿海热带和亚热带地区,鉴于该药材的多种生物活性及其临床上的显著疗效,市场需求很大。然该植物资源目前在国内处于自生自灭的野生状态,多散生于草地、灌木丛中

收稿日期:2010-09-20 修回日期:2010-10-26

基金项目:国家自然科学基金项目资助(30771724)和广东海洋大学自然科学基金项目资助(0812174)

作者简介:李林锋(1972-),男,讲师,博士,主要从事植物生态学方面的研究, E-mail:ll801@126.com。

及路旁向阳处, 仅在海南有 1 篇人工栽培的研究和报道^[4], 这极大地限制了现代医药发展对这一药材资源的需求。因此, 笔者根据 GAP 要求, 采用“3414”不完全最优回归设计方案, 研究氮、磷、钾肥对鸦胆子幼苗生长及幼苗叶片光合特性的影响, 以期探明不同氮、磷、钾施用量下鸦胆子幼苗光合特性, 为鸦胆子合理施肥和规范化种植提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

鸦胆子 (*Brucea javanica*) 种子为 2008 年 2 月 27 日在广东海洋大学后山交椅岭野生母树上采集, 于冰箱中冷藏备用。供试土壤采用客土的方法处理, 营养土来自广东海洋大学园林实习基地砖红壤园土, pH 值为 7.6 有机质 23.4 g/kg 碱解氮 93.7 mg/kg 速效磷 54.5 mg/kg 速效钾 135.2 mg/kg 供试肥料为尿素 (含 N 46%)、磷酸二氢钠 (含 P₂O₅ 45%) 及氯化钾 (含 K₂O 63%), 均为分析纯。

1.2 试验设计

采用“3414”不完全正交回归设计方案, 设置氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 3 个养分因素, 各因素设 4 个用量水平, 共 14 个处理, 各处理设 5 次重复。氮肥和钾肥分 3 次施用, 基肥占 50%, 2 次追肥各占 25%, 磷肥一次性基施。试验设计及施肥处理详见表 1^[5]。

表 1 施肥处理的试验设计

Tab 1 The experimental design of fertilizing treatments

编号 Code	处理 Treatment	施肥量 / (g·kg ⁻¹) Fertilizer			编号 Code	处理 Treatment	施肥量 / (g·kg ⁻¹) Fertilizer		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	N ₀ P ₀ K ₀	0.000	0.000	0.000	8	N ₂ P ₂ K ₀	0.300	0.150	0.000
2	N ₀ P ₂ K ₂	0.000	0.150	0.300	9	N ₂ P ₂ K ₁	0.300	0.150	0.150
3	N ₁ P ₂ K ₂	0.150	0.150	0.300	10	N ₂ P ₂ K ₃	0.300	0.150	0.450
4	N ₂ P ₀ K ₂	0.300	0.000	0.300	11	N ₃ P ₂ K ₂	0.450	0.150	0.300
5	N ₂ P ₁ K ₂	0.300	0.075	0.300	12	N ₁ P ₁ K ₂	0.150	0.075	0.300
6	N ₂ P ₂ K ₂	0.300	0.150	0.300	13	N ₁ P ₂ K ₁	0.150	0.150	0.150
7	N ₂ P ₃ K ₂	0.300	0.225	0.300	14	N ₂ P ₁ K ₁	0.300	0.075	0.150

1.3 测定方法

采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测定系统对鸦胆子幼苗叶片进行光合速率的测定, 每次测定在 09:30–11:00 进行, 光源为人工蓝紫光, 光量子通量密度为 1000 μmol/(m²·s)。所测叶片均为自然状态下从顶部往下数第三或第四层复叶上的第 5 第 6 片健康成熟小叶, 每一施肥处理水平随机选取 3 片叶, 每一叶片进行 3 次记录, 取平均值, 测定的参数为叶片净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 和叶周围大气 CO₂ 浓度 (C_a) 等。各植物叶片气孔限制值 (L_s) 按照 Berry 和 Downton 的方法^[6], 根据仪器输出的 C_i 和 C_a 的数值进行计算, 即 L_s = 1 - C_i/C_a。植物的水分利用效率 (WUE) 用光合速率和蒸腾速率的比值表示。叶绿素含量的测定用质量分数为 80% 丙酮浸提, 按文献 [7] 的方法测定。

1.4 数据分析

用 SPSS 软件包 (SPSS 13.0 for Windows Chicago USA) 对观察数据进行统计分析, 用 Origin 10.0 绘制图形。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾配施对鸦胆子幼苗叶片叶绿素含量的影响

从表 2 可以看出, 氮肥施用量对鸦胆子幼苗叶片叶绿素含量有显著性影响, 随供氮水平的增加, 叶绿素 a 及叶绿素 b 含量均增加, 在中氮施用量时达到最大, 此后随氮施肥量的进一步增加, 叶绿素含量稍有下降, 表明鸦胆子仍然具有野生习性, 不耐高肥力; 磷肥施用量对幼苗叶片叶绿素含量影响差异不

显著, 而且叶绿素含量与供钾水平呈负相关 ($R^2 = 0.892$), 这可能与供试土壤的速效钾含量较高有关。氮、磷、钾肥施用量对类胡萝卜素含量的影响和对叶绿素含量的影响趋势相似。

表 2 氮、磷、钾不同配施对鸭胆子幼苗叶片光合色素含量的影响

Tab 2 The effect of different N, P and K supply level on chlorophyll [Chl a, Chl b, Chl a/b, chl(a+b)] and carotenoid content in the leaves of *Brucea javanica* (n = 3)

处理 Treatment	Chl a/ (mg·g ⁻¹)	Chl b/ (mg·g ⁻¹)	Chl a/b	Chl(a+b) / (mg·g ⁻¹)	Carotenoid/ (mg·g ⁻¹)
N ₀ P ₂ K ₂	0.83 ± 0.04a	0.13 ± 0.01a	6.35 ± 0.47b	0.96 ± 0.04a	0.42 ± 0.02a
N ₁ P ₂ K ₂	1.65 ± 0.07b	0.31 ± 0.02b	5.26 ± 0.08a	1.96 ± 0.09b	0.54 ± 0.00b
N ₂ P ₂ K ₂	2.15 ± 0.14c	0.44 ± 0.04d	4.86 ± 0.27a	2.59 ± 0.18c	0.55 ± 0.02b
N ₃ P ₂ K ₂	2.07 ± 0.02c	0.39 ± 0.01c	5.29 ± 0.15a	2.46 ± 0.03c	0.56 ± 0.01b
N ₂ P ₀ K ₂	2.13 ± 0.04a	0.45 ± 0.01a	4.72 ± 0.05a	2.58 ± 0.05a	0.51 ± 0.01a
N ₂ P ₁ K ₂	2.33 ± 0.19a	0.56 ± 0.15a	4.18 ± 0.74a	2.89 ± 0.34a	0.51 ± 0.07a
N ₂ P ₂ K ₂	2.15 ± 0.14a	0.44 ± 0.04a	4.86 ± 0.27a	2.59 ± 0.18a	0.55 ± 0.02a
N ₂ P ₃ K ₂	2.08 ± 0.11a	0.41 ± 0.05a	5.02 ± 0.44a	2.49 ± 0.16a	0.49 ± 0.13a
N ₂ P ₂ K ₀	2.34 ± 0.14c	0.54 ± 0.04c	4.35 ± 0.27a	2.88 ± 0.18c	0.50 ± 0.02a
N ₂ P ₂ K ₁	2.16 ± 0.06b	0.45 ± 0.04b	4.81 ± 0.19b	2.61 ± 0.10b	0.54 ± 0.02b
N ₂ P ₂ K ₂	2.15 ± 0.04b	0.44 ± 0.01b	4.86 ± 0.03b	2.59 ± 0.04b	0.55 ± 0.00b
N ₂ P ₂ K ₃	1.88 ± 0.07a	0.34 ± 0.02a	5.57 ± 0.18c	2.22 ± 0.10a	0.57 ± 0.01c

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Different letters in the same column to indicate significant difference at 0.05 level

2.2 氮磷钾配施对鸭胆子幼苗叶片光合特性的影响

2.2.1 氮磷钾单因素作用对鸭胆子光合特性的影响 从表 3 可以看出, 氮、磷、钾肥不同施用量都对鸭胆子幼苗叶片的净光合速率 (P_n) 产生显著影响。随着氮肥施用量的增加, 净光合速率一直增加。高氮

表 3 氮、磷、钾不同配施对鸭胆子幼苗叶片光合特性影响的单因素作用分析

Tab 3 Single-factor analysis on net photosynthesis rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO₂ concentration (C_i), transpiration (T_r), stomatal limitation (L_s) and water use efficiency (WUE) in the leaves of *Brucea javanica* under different N, P and K supply level (n = 9)

处理 Treatment	P_n / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	G_s / ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	C_i / ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	T_r / ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	L_s /%	WUE / ($\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$)
N ₀ P ₂ K ₂	5.03 ± 0.89a	0.273 ± 0.027c	205.9 ± 4.6a	1.53 ± 0.33c	49.6 ± 1.4a	3.23 ± 0.12a
N ₁ P ₂ K ₂	8.15 ± 0.86b	0.100 ± 0.028ab	176.3 ± 29.9a	2.37 ± 0.51ab	51.2 ± 8.3b	3.44 ± 0.61b
N ₂ P ₂ K ₂	11.35 ± 0.86c	0.182 ± 0.040bc	189.1 ± 17.0a	3.51 ± 0.56b	43.8 ± 5.4a	3.23 ± 0.34a
N ₃ P ₂ K ₂	12.16 ± 1.11c	0.068 ± 0.026a	181.2 ± 26.0a	1.41 ± 0.42a	47.0 ± 3.8b	3.88 ± 0.63a
N ₂ P ₀ K ₂	6.78 ± 0.59a	0.058 ± 0.004a	124.2 ± 2.0a	1.55 ± 0.08a	62.5 ± 2.6c	4.36 ± 0.21a
N ₂ P ₁ K ₂	8.34 ± 0.14ab	0.079 ± 0.003ab	139.7 ± 4.0ab	2.05 ± 0.07ab	58.0 ± 1.2bc	4.07 ± 0.08a
N ₂ P ₂ K ₂	11.35 ± 0.86c	0.182 ± 0.040ab	189.1 ± 17.0bc	3.51 ± 0.56b	43.8 ± 5.4ab	3.23 ± 0.34a
N ₂ P ₃ K ₂	10.26 ± 0.90bc	0.198 ± 0.057b	199.4 ± 24.3c	3.56 ± 0.76b	41.0 ± 7.3a	3.29 ± 0.50ab
N ₂ P ₂ K ₀	7.23 ± 0.58a	0.073 ± 0.009a	151.7 ± 8.7a	1.75 ± 0.19a	55.4 ± 3.2b	4.19 ± 0.15b
N ₂ P ₂ K ₁	9.08 ± 0.96ab	0.172 ± 0.056b	202.7 ± 16.9b	3.10 ± 0.66b	39.6 ± 5.0a	3.18 ± 0.32a
N ₂ P ₂ K ₂	11.35 ± 0.86b	0.182 ± 0.040b	189.1 ± 17.0ab	3.51 ± 0.56b	43.8 ± 5.4a	3.23 ± 0.34ab
N ₂ P ₂ K ₃	6.03 ± 1.87a	0.080 ± 0.036a	178.3 ± 15.4ab	1.77 ± 0.69a	47.0 ± 4.4a	3.64 ± 0.32ab

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Different letters in the same column to indicate significant difference at 0.05 level

肥施用量下叶片净光合速率是缺氮处理叶片净光合速率的 2.4 倍,但从中氮到高氮处理,施肥量增加了 33%,而光合速率仅增加了 6%。在一定的氮肥施用量下,随着磷、钾肥施用量的增加,净光合速率先增加后下降,而且各施肥处理对气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率的影响差异显著,但变化趋势各有不同。所有施肥处理中,气孔导度的变化与蒸腾速率大小呈正相关 ($R^2 = 0.956$),蒸腾速率大,则气孔导度大;反之,蒸腾速率小,气孔导度小。气孔限制值大小和蒸腾速率的变化趋势刚好相反,蒸腾

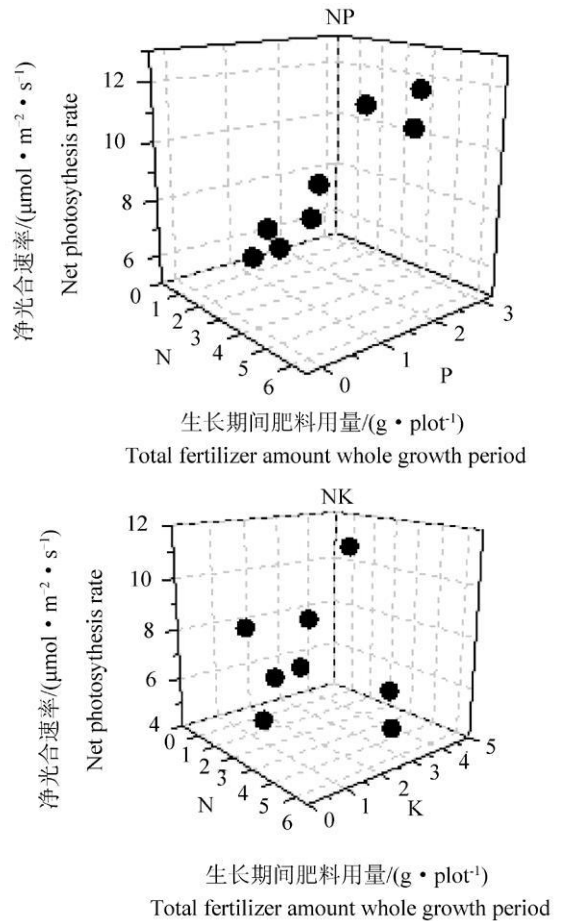


图 1 N、P、K 交互作用对鸭胆子幼苗叶片光合速率的影响

Fig. 1 The effects of N, P and K interaction on the photosynthetic rate in the leaves of *Buceca javanica* seedlings

速率小则气孔限制值大。氮、磷、钾肥不同施用量都对叶片水分利用效率产生显著性影响,但各施肥处理的变化趋势各不相同。

2.2.2 氮磷钾交互作用对鸭胆子光合特性的影响 根据“3414”试验设计的特点,把氮、磷、钾 3 个因素中的 1 个因素固定为 2 水平,可对另两个因素用量效果进行交互作用分析。用 Origin 10.0 软件作交互散点图,得图 1。由图 1 可以看出,氮磷、磷钾和氮钾互作效应不明显,叶片净光合速率的大小受氮肥施用量的影响大于磷肥和钾肥。这和以鸭胆子幼苗叶片净光合速率大小为目标 (y),氮、磷、钾肥肥分用量为变量 (x),进行净光合速率与氮、磷、钾一元、二元和三元肥料效应的拟合方程结果一致(表 4),即净光合速率与氮、磷、钾肥的一元、二元及三元肥料效应的回归方程相关性检验不显著,但净光合速率与氮肥的相关系数最大。

3 讨论

氮、磷、钾是植物生长发育的三大必需营养元素,其缺乏或不足都会影响植物的生长发育。许多研究表明,施肥量的增加,尤其是氮肥的增施与植物叶片净光合速率有着强烈的正相关关系,因为叶片中约 75% 的氮存在于叶绿体中^[8]。叶片氮含量的变化,可通过调节类囊体蛋白和叶片叶绿素含量而直接影响叶片的光合能力^[9]。叶片氮来源又与外界环境中供氮水平有很强的相关性,因此,供氮水平必然会通过影响叶片叶绿素含量而最终影响到植物的净光合速率。随着氮肥施用量的增加,鸭胆子幼苗叶片叶绿素含量不断增加,只是在高氮肥处理时有所下降,与此对应叶片的净光合速率也随供氮水平的增加而不断增加,虽然高氮处理幼苗叶片叶绿素含量有所下降,但净光合速率还是有小幅增加(6%),说明影响叶片净光合速率大小的因素除氮肥及叶绿素含量外,还有其他因素如气孔限制和叶肉细胞光合活性能力等。本试验中,叶片胞间 CO₂ 浓度在不同氮肥处理间差异不显著,说明鸭胆子幼苗叶片净

光合速率的大小受包括叶肉细胞羧化效率在内的一系列生理生化过程的影响可能较大^[10], 这和张往祥等^[11]对银杏光合特性研究的结果相似。高氮肥用量处理的鸦胆子幼苗叶片净光合速率增加幅度(6.7%)小于中高水平(28.2%), 说明鸦胆子仍有野生特性, 不耐高肥力, 这和王涓玲等^[12]发现的野生丹参的栽培特性一致。

表 4 鸦胆子幼苗氮磷钾肥肥料效应模型

Tab 4 Models of N, P and K fertilizer efficiency for the seedlings of *Brucea javanica*

模型 Model	养分 Nutrition	肥料效应方程 Fertilizer effect equation	R 值 R value	F 值 F value	P 值 P value	最大施肥量 / (g·pot ⁻¹) Largest fertilizer amount
一元 unary	N	$Y = 4.91 + 2.17N - 0.16N^2$	0.995	51.74	0.098	6.78
	P ₂ O ₅	$Y = 6.90 + 2.64P - 0.47P^2$	0.879	1.70	0.476	2.81
	K ₂ O	$Y = 8.27 + 1.72K - 0.52K^2$	0.598	0.23	0.801	1.65
二元 duality	N, P ₂ O ₅	$Y = 2.53 + 1.43N + 2.28P - 0.08N^2 - 0.50P^2 + 0.12NP$	0.968	6.03	0.148	11.70, 3.68
	N, K ₂ O	$Y = -9.90 + 4.53N + 7.13K + 0.04N^2 - 0.63K^2 - 1.26NK$	0.869	1.23	0.506	1.94, 3.72
	P ₂ O ₅ , K ₂ O	$Y = -5.56 + 6.67P + 5.99K + 0.16P^2 - 0.53K^2 - 2.14PK$	0.762	0.57	0.736	1.17, 3.29
三元 ternary	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	$Y = 4.02 - 1.34N - 3.43P + 5.05K + 0.17N^2 + 0.46P^2 - 0.38K^2 + 1.52NP - 0.52NK - 0.90PK$	0.864	1.31	0.425	3.33, 1.16, 2.99

除了氮对植物光合效应起作用以外, 植物对磷的反应也很强烈。因为光合产物的运输, 磷是不可缺少的重要因素。在碳水化合物代谢中, 许多物质都必须首先进行磷酸化作用, 磷控制碳水化合物的代谢, 且叶中的氮和磷的含量与光合速率密切相关^[13]。因此, 叶片中磷的含量多少对植物光合作用过程和生产力具有重要影响。磷肥的增施使鸦胆子叶片净光合速率和叶绿素含量出现上升趋势, 在中磷施用量水平, 鸦胆子叶片净光合速率最大, 继续增施磷肥则净光合速率有所下降, 这与郭延平等^[14]在温州蜜柑上的研究结果是一致的。

钾是植物细胞中含量最丰富的阳离子之一, 钾离子能调节植物体的许多生理功能, 如活化光合作用的酶的活性等^[15]。因此, 在一定的氮磷施用量下, 随着钾肥用量的增加, 叶片净光合速率有一定的增加, 但高钾肥处理幼苗叶片的净光合速率反而有所下降, 这可能与试验土壤中速效钾含量过高有关, 试验中所施入的钾与试验土壤中的钾协同对鸦胆子构成高钾胁迫, 导致叶绿素含量下降, 进而影响到叶片的气体交换。

虽然氮、磷、钾肥对鸦胆子幼苗叶片叶绿素含量及气体交换参数都有影响, 但是通过氮磷、氮钾、磷钾的交互作用散点图及回归方程发现其交互作用不是很明显, 这和于海彬等^[16]在不同氮磷营养水平对甜菜光合作用特性的研究结论不一致, 这可能与不同物种的生长特性有关。虽如此, 作为一个以种子入药的药用植物, 不同施肥处理条件下其叶片光合特性的研究毕竟只是一种间接的手段, 最终还是要落实到不同施肥处理对其种子产量及其药用活性物质含量的大小的影响上来, 这也是今后研究的一个重要方向。

4 结 论

(1) 除磷肥对叶绿素含量的影响差异不显著外, 叶绿素含量随着氮肥施用量的增加而呈递增趋势, 当氮肥施用量达到纯 N: 3.86 g/盆, P₂O₅: 1.98 g/盆, K₂O: 2.86 g/盆时, 叶绿素含量最高, 之后随着施肥量的增加, 叶绿素含量开始下降, 但随钾肥施用量的增加, 叶绿素含量与钾肥的施用量变化呈负相关。

(2)各施肥处理都对鸭胆子幼苗叶片净光合速率产生显著影响,净光合速率随氮肥施用量的增加而增大,当氮肥施用量达到纯 N: 5.79 g/盆, P₂O₅: 1.98 g/盆, K₂O: 2.86 g/盆时,叶片净光合速率最大。净光合速率随磷、钾肥施用量的增加也呈递增趋势,当磷肥、钾肥的施用量都达到纯 N: 3.86 g/盆, P₂O₅: 1.98 g/盆, K₂O: 2.86 g/盆时,随着施肥量的增加,净光合速率开始下降。肥料的交互作用中,氮肥与磷肥、氮肥与钾肥、磷肥与钾肥之间的互作效应不明显,但净光合速率大小受氮肥施用量的影响较大。

参考文献:

- [1]杨峰,于江,田玉峰,等. 鸭胆子的研究概况[J]. 黑龙江医药, 1998, 11(2): 112- 113
- [2]吴松昌,林震琼. 术前静脉滴注鸭胆子油乳剂治疗肺癌的临床病理研究[J]. 上海医学, 1991, 14(5): 271- 273
- [3]丁晨旭,索有瑞. 中药鸭胆子化学成分及药理学研究进展[J]. 中成药, 2006, 28(1): 117- 120
- [4]李向宏,何凡,李宏,等. 海南鸭胆子栽培技术初报[J]. 中国园艺文摘, 2009(1): 42- 45
- [5]李林锋. 盆栽鸭胆子氮磷钾肥料配方的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(9): 4091- 4093, 4095
- [6]Berry J A, Downton W J S S. Environment regulation of photosynthesis[C] // Govind J ed. Photosynthesis Vol III. New York: Academic Press, 1982: 263- 343
- [7]张志良. 植物生理学实验指导[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1990: 88- 91
- [8]Chapin F S, Blom A J, Field C B, et al. Plant responses to multiple environmental factors[J]. Bioscience, 1978, 37(1): 49- 57
- [9]Evans J R. Photosynthetic acclimation and nitrogen partitioning within a Lucerne canopy. I. Canopy characteristics[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1993, 20(1): 55- 67
- [10]柯世省. 干旱胁迫对夏蜡梅光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(6): 1209- 1215
- [11]张往祥,吴家胜,曹福亮,等. 氮磷钾三要素对银杏光合性能的影响[J]. 江西农业大学学报, 2004, 24(6): 811- 815
- [12]王渭玲,梁宗锁,孙群,等. 丹参高产栽培洗化配方施肥技术研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(1): 130- 135
- [13]蒋吉平,鲁纠巍,李文西,等. 盆栽金盏菊氮磷钾肥料配方的研究[J]. 园艺学报, 2007, 35(2): 269- 276
- [14]郭延平,陈屏昭,张良诚,等. 缺磷胁迫加重柑橘叶片光合作用的光抑制及叶黄素循环的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 359- 363
- [15]潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 31
- [16]于海彬,周芹,刘娜,等. 不同氮磷营养水平对甜菜叶片光合速率的影响[J]. 中国糖料, 2001(3): 19- 21