

莲藕干物质和氮磷钾养分的累积与分配研究

刘冬碧, 熊桂云*, 范先鹏, 杨利, 巴瑞先, 张富林, 余延丰

(湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064)

摘 要: 连续2年采用盆栽试验研究了莲藕(*Nelumbo nucifera* Gaertn)干物质和氮磷钾养分的累积与分配规律。结果表明: 莲藕苗期以叶片生长并积累光合产物为主, 膨大根状茎成型后, 叶片、叶柄和根状茎中的干物质不断运输并贮存到膨大根状茎中, 以产量形成为主, 干物质累积总量增长呈“慢-快-稳定”的变化趋势; 氮磷钾累积量与干物质累积量变化趋势一致, 并呈极显著正相关, 莲藕氮磷钾养分累积总量之比为1:0.12:1.31。移栽后97~160 d是莲藕产量形成的关键时期, 不仅叶片、叶柄和根状茎中的氮磷钾随同干物质运输并贮存到膨大根状茎中, 根系还从土壤中吸收更多的氮磷钾直接运输并贮存到膨大根状茎中, 后者分别占同期氮磷钾累积量的69.8%、79.2%和75.0%。160 d膨大根状茎中干物质、氮、磷和钾累积量分别平均占植株总累积量的81.1%、85.2%、88.8%和80.2%。

关键词: 莲藕; 干物质; 氮磷钾; 累积与分配

中图分类号: Q945; S645.1

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2011)01-0124-06

Studies on Accumulation and Distribution of Dry Matter, Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Rhizome Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn)

LIU Dong-Bi, XIONG Gui-Yun*, FAN Xian-Peng, YANG Li, BA Rui-Xian, ZHANG Fu-Lin, YU Yan-Feng

(Plant Protection, Soil and Fertilizer Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: Accumulation and distribution of dry matter, nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in rhizome lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn) were studied by pot experiment for two years. Results showed that, in seeding stages, accumulation of photosynthesis products in leaves was the main growing process. After swollen stem formation, dry matter in leaves, petioles, and rhizomes were distributed to the swollen rhizomes, during which yield formation was the main process. Total dry matter accumulation showed a “slow-quick-stable” changing tendency, and was significantly correlated to the total accumulation of N, P, and K. The ratio of total N, P, and K accumulation in the plant was 1:0.12:1.31. Between 97 d–160 d after transplanting was the key stage for yield formation, during which not only N, P, and K in leaves, petioles and rhizomes were distributed to the swollen rhizomes together with dry matter transport, but also more soil N, P, and K were absorbed by roots and directly transported to the swollen rhizomes. The N, P and K absorbed from soil were 69.8%, 79.2%, and 75.0% of the total accumulation rates in the period respectively. At 160 d, the accumulation of dry matter, N, P, and K in the swollen rhizomes contained 81.1%, 85.1%, 88.8%, and 80.2% of the total accumulation in the lotus plant, respectively.

Key words: Rhizome lotus; Dry matter; Nitrogen, phosphorus and potassium; Accumulation and distribution

收稿日期: 2009-11-24, 修回日期: 2010-12-09。

基金项目: 湖北省农业科技创新项目(2007-620-003-03-05); 国际植物营养研究所项目(IPNI-HB-24)。

作者简介: 刘冬碧(1971-), 女, 副研究员, 从事植物营养与平衡施肥技术研究(E-mail: doliu@ipni.ac.cn)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: xionggy@sina.com)。

莲藕(*Nelumbo nucifera* Gaertn), 又名藕、荷、水芙蓉, 为睡莲科莲属多年生宿根大型水生草本植物, 按其产品器官的利用价值可分为藕莲、子莲和花莲^[1,2]。以膨大的地下根状茎为食用的藕莲(文中称“莲藕”), 是中国种植面积最大的水生经济作物, 也是中国的特色水生蔬菜, 具有较高的经济价值和丰富的营养、医疗保健价值^[2]。据统计, 全国莲藕种植面积 270 khm², 主要分布在长江流域的湖北、江苏、安徽和浙江等省, 总产量 7340 kt^[2]。国外有关莲藕的研究主要集中在植物生理、药理保健等方面^[3-5]; 我国过去在莲藕方面的理论研究侧重植物分类与生长发育、品种资源收集、遗传育种、生理生化特性等方面^[1,6-11], 生产应用研究主要为综合栽培技术、栽培模式探讨等^[2]。莲藕施肥技术方面的研究报道较少^[12,13], 全生育期养分吸收与分配等营养特性方面的研究未见报道。湖北省农业科学院植保土肥所近期田间试验研究结果表明, 影响湖北莲藕产量的土壤养分限制因子主要为氮、钾、磷和锌^[14]。本研究的目的在于探讨莲藕全生育期干物质生产与养分累积及分配规律, 为莲藕生产中进一步制定合理的施肥措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验分别在 2007 和 2008 年度进行。供试土壤采自武汉市东西湖区走马岭农场的不同地块, 均为长江冲积物母质发育的潮土性水稻土, 土样的分析采用土壤养分状况系统研究法^[15], 其属性及有效养分含量见表 1。供试莲藕品种为鄂莲 5 号。

1.2 试验设计与方法

试验采用 65 cm x 50 cm x 35 cm 硬质塑料大盆, 每盆装粉碎风干土 100 kg, 重复 25 次。N、P₂O₅ 和 K₂O 用量分别为 0.45、0.15、0.45 g/kg 土, 大粒锌(Zn 30%) 0.5 g/盆。氮肥用尿素(N 46%), 60% 基施, 余下 40% 在 5 月底和 6 月下旬分 2 次平均追施; 磷肥用过磷酸钙(P₂O₅ 12%), 全部

基施; 钾肥用氯化钾(K₂O 60%), 70% 基施, 余下 30% 于 6 月下旬和尿素同施, 基肥与供试土壤拌匀后装盆, 锌肥在 2 叶期溶于水后一次性施入盆钵中。

将试验盆置于本院盆栽场网室内微池土壤中, 使微池土壤成为试验盆的“支持介质”, 然后在盆中装入已按处理拌好基肥的 100 kg 风干土, 浇水浸泡, 使水层高度约为 5 cm, 并使盆内外土体大致水平, 最后在微池中灌水, 让支持试验盆的土体呈淹水状态, 使试验土体的环境温度一致并接近于大田。2 d 后(4 月 11 日) 每盆移栽 0.5 kg 经消毒处理、长势基本一致且已萌发的健康子藕。在网室的试验区域顶部固定透明塑料膜以防雨水进入, 自来水浇灌, 及时防病虫害草。

分别于移栽后 56 d(苗期)、76 d(根状茎膨大始期)、97 d(膨大根状茎成型期)、118 d(膨大根状茎充实前期)、139 d(充实中期)、160 d(充实末期) 采取整盆植株样, 取 3~4 次重复, 最后 4 次重复在 190 d(10 月 18 日) 立叶完全枯黄后收获, 每次按荷叶叶片、叶柄、根状茎、膨大根状茎 4 部分分别记录鲜、干重量(枯死部分不计, 根系难收集完全且干重比例低于 3%, 不统计), 计算含水量和干物质累积总量, 各部分干物质粉碎过筛, 测定氮磷钾养分含量, 计算养分累积量。植株全氮、全磷和全钾的分析用常规方法^[16]: 用硫酸-过氧化氢消煮, 消煮液碱化后用蒸馏定氮法测定全氮、钼蓝比色法测定全磷、火焰光度法测定全钾。

2 结果与分析

2.1 莲藕干物质累积与产量形成过程

莲藕荷叶叶片、叶柄和根状茎干物质累积量表现为“低-高-低”的变化趋势, 在苗期增加较为缓慢, 随着生育进程推进干物质累积明显加快, 叶片和根状茎的累积量在 97 d 达最高值, 叶柄累积量在 118 d 达最高值, 此后不断降低, 不同时期干物质累积量大小为叶片 > 叶柄 > 根状茎(见图 1)。膨大根状茎(以下简称“膨大茎”)干物质累积量与整株干

表 1 两种供试土壤基本理化性状
Table 1 Basic properties of the two soils tested

年份 Year	土壤质地 Soil texture	pH 值 (H ₂ O)	有机质 OM(%)	有效养分含量 Available nutrient contents (mg/L)								
				NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	P	K	S	Fe	Cu	Mn	Zn
2007	重壤 Heavy loam	7.92	1.19	11.4	17.9	7.2	84.6	26.6	9.6	5.5	31.4	1.3
2008	中壤 Medium loam	7.92	1.28	15.9	32.5	19.1	100.8	82.4	29.4	7.4	24.1	2.5

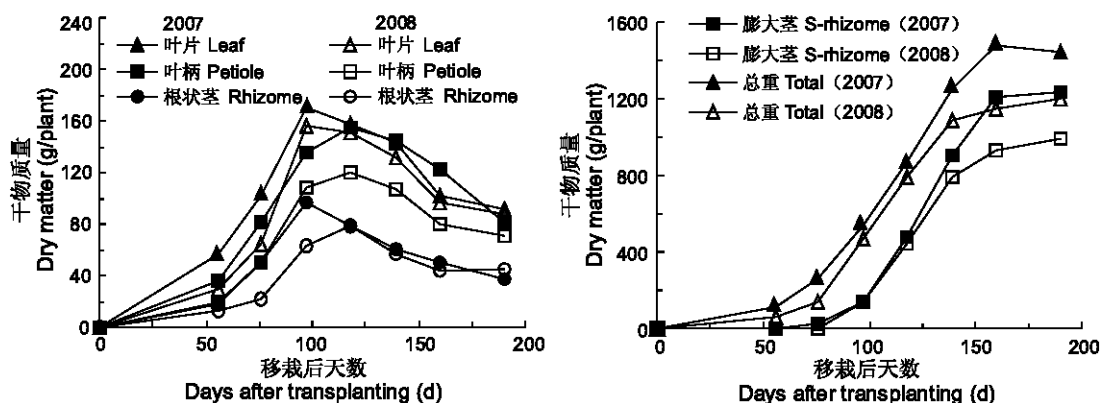


图1 莲藕各器官及整株干物质累积动态

Fig. 1 Dynamics of dry matter accumulation in different organs of rhizome lotus

物质累积总量均呈“慢-快-稳定”的变化趋势,在移栽后76 d左右开始膨大,97 d 叶片干物质累积量达最高值时基本成型为新藕,随后进入干物质快速累积阶段,160 d 左右基本稳定成熟,干物质累积量不再明显增加,植株干物质累积总量由于部分荷叶的衰老腐烂反而可能有所降低。56 d 叶片、叶柄和根状茎的干物质累积比例平均分别为50.3%、32.2%和17.5%;97 d 叶片、叶柄、根状茎和膨大茎的干物质累积比例平均分别为32.4%、24.2%、16.0%和27.4%;160 d 平均分别为7.6%、7.7%、3.6%和81.1%。以上结果表明,97 d 之前莲藕生长中心为叶片,以生产并积累光合产物为主,膨大茎成型后生长中心发生转移,干物质不断运输并贮存到膨大茎中,以形成产量为主。

2.2 莲藕不同器官氮磷钾含量变化动态

随着生育进程的推进,莲藕各器官氮磷钾含量基本呈下降趋势,其中以叶片氮素含量下降幅度最大(见图2)。生育后期根状茎氮磷含量略有上升,膨大茎氮磷钾含量在后期趋于稳定。叶片、叶柄和根状茎氮磷钾含量降低的原因,在生育前期是由于干物质累积速率大于氮磷钾养分吸收速率,而在后期是由于氮磷钾养分向生长中心转移的速率大于干物质转移速率,而膨大茎氮磷钾含量的降低则可能是干物质迅速累积导致的“稀释效应”^[17]。同一时期莲藕不同器官氮含量大小为叶片>膨大茎>根状茎>叶柄;磷含量大小在生育前期为叶片>膨大茎>根状茎>叶柄,在生育后期膨大茎磷含量反而高于叶片;钾含量的变化比较复杂,叶柄钾含量明显高于其它器官,叶片、根状茎和膨大茎钾含量从总体上看相差不

大。叶柄在整个生育期对荷叶叶片起支撑作用,充足的钾营养对于促进莲藕健康生长,提高其抗病虫害、风害和机械损伤等抗逆能力具有重要意义。

2.3 莲藕氮磷钾养分累积动态及其在不同器官中的分配

2.3.1 莲藕氮磷钾养分累积动态

莲藕对氮、磷和钾养分的累积总量与干物质总量变化趋势是一致的(图3:右),并分别与干物质累积总量呈极显著正相关(r 分别为0.989**、0.990**和0.978**, $n=14$)。莲藕在生育前期养分累积较少、增加较慢,97 d 后进入快速累积期,氮素和磷素累积量在160 d 以后基本稳定,钾素累积量在139 d 之后基本不再增加,甚至有所减少,结合干物质累积变化规律,可认为160 d 养分累积量已达到最大值,进入成熟藕最佳收获时期,此时莲藕氮、磷、钾累积量之比为1:0.12:1.31,磷钾比例比田间小区试验中的比例相对较低^[14]。

2.3.2 氮磷钾养分在莲藕不同器官中的分配

比较图3与图1中养分累积量可见,莲藕不同器官氮磷钾养分累积规律与干物质也是一致的。生育前期养分主要积累在叶片等生长中心,97 d 膨大茎形成之后,生长中心下移,其它各器官的养分累积量不断减少,随同干物质运输并贮存到膨大茎中。97~160 d,膨大茎中累积的氮、磷和钾平均分别增加了12.7、1.59和15.3 g/株,分别占其全生育期累积总量的85.2%、83.9%和82.7%,其中来自于莲藕其它器官转移(即同期叶片、叶柄和地下茎累积量的减少值之和)的氮、磷和钾平均分别为3.84、0.33、3.83 g/株,分别仅占同期氮磷钾累积量的

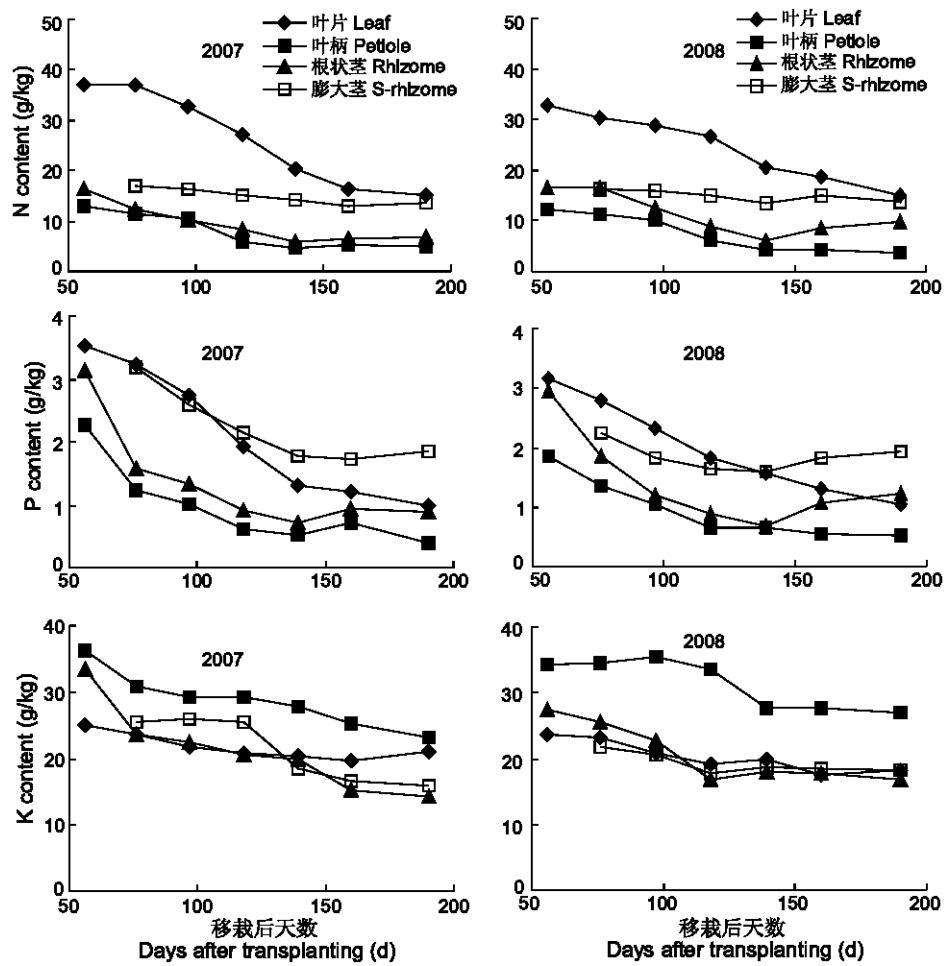


图 2 莲藕各器官氮磷钾养分含量的动态变化

Fig.2 Dynamics of N,P and K content in different organs of rhizome lotus

30.2%、20.8%和25.0%，表明根系还从土壤中吸收更多的氮磷钾养分，直接运输并贮存到膨大茎中，促进膨大茎养分快速积累和产量形成。以上结果与宋春风等^[17]、张锋等^[18]、蔡艺艺等^[19]在其它块根（茎）类作物上的研究结果基本一致。

从养分分配比例看，生育前期氮、磷累积量主要分配在叶片中，56 d时叶片氮和磷累积比例平均分别高达71.1%和58.0%，其次是叶柄，根状茎氮和磷累积比例最少。随着生育进程推进和膨大茎的充实，叶片、叶柄和根状茎中氮磷累积比例逐渐降低，膨大茎中比例迅速增加，160 d时叶片氮和磷比例平均分别降低到10.0%和5.96%，而膨大茎中比例平均分别达85.1%和88.8%。钾的分配规律与氮和磷相似，由于整个生育期叶柄钾含量一直明显高于其它器官，因此叶柄钾累积量与叶片相差不大，

56 d时叶片和叶柄钾累积比例平均分别为42.1%和39.2%，160 d时叶片和叶柄钾累积比例平均分别降低至8.02%和8.93%，膨大茎中钾比例平均增加到80.2%。

3 讨论

本试验中，118 d之前的莲藕叶片干物质累积量、氮磷钾含量和累积量均为2007年明显高于2008年，在膨大茎成型到基本成熟期间，从叶片向膨大茎转移的干物质质量和氮磷钾养分，2007年比2008年分别高出13.9%、37.8%、42.4%和24.9%，最终产量（160 d膨大茎干物质质量）2007年比2008年高出29.7%。上述结果可能与2个年度气候差异以及2008年度供试土壤有效硫和有效铁含量较高有关，这一结果与蔡艺艺等在甘薯上的研

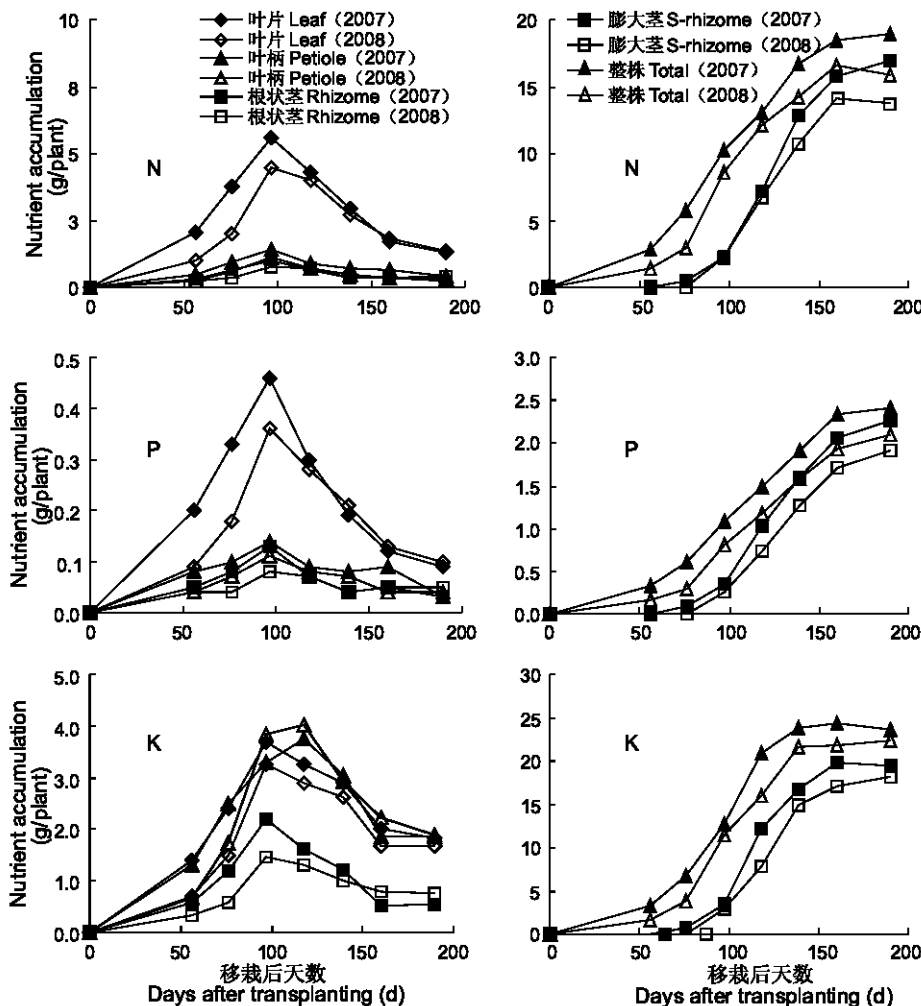


图3 莲藕各器官及整株氮磷钾养分累积动态

Fig.3 Dynamics of N,P and K accumulation in different organs of rhizome lotus

究结果也是一致的^[19]。

莲藕生育前期以地上部叶片生长、构建营养及光合作用器官为主,膨大茎成型后生长中心下移,干物质和各种矿质养分不断运输并贮存到膨大茎中,以形成产量为主。移栽后 97 ~ 160 d 是产量形成的关键时期,这一阶段膨大茎累积的氮、磷和钾,平均分别有 69.8%、79.2% 和 75.0% 来自根系从土壤中的吸收。因此,在莲藕生产中宜采用“以追肥为主、基追并重”的施肥原则,且注意氮、磷、钾肥的平衡施用。已有大量研究结果表明,钾素营养对于促进块茎、块根类作物碳水化合物的合成、转化、运输和贮存具有重要作用,且这类作物对钾的吸收量明显高于氮^[17-19]。氮素和钾素是目前湖北莲藕生产中影响产量的主要养分限制因子^[14],而在湖北省莲藕生产中钾肥用量往往不足,因此莲藕钾肥的补

充需引起高度重视。

参考文献:

- [1] 中国科学院武汉植物研究所. 中国莲[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [2] 沈康荣. 水稻与莲藕覆膜节水高效技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 162-172.
- [3] Vogel S. Contributions to the functional anatomy and biology of *Nelumbo nucifera* (Nelumbonaceae) I. pathways of air circulation[J]. *Plant Syst Evol*, 2004, DOI 10. 1007/s00606-004-0201-8.
- [4] Hu M, Skibsted L H. Antioxidative capacity of rhizome extract and rhizome knot extract of edible lotus (*Nelumbo nucifera*) [J]. *Food Chem*, 2002, 76: 327-333.
- [5] Lee K K, Kim J H, Cho J J, et al. Inhibitory effects of 150 plant extracts on elastase activity, and their

- anti-inflammatory effects[J]. *Int J Cos Sci*, 1999, 21: 71-82.
- [6] 陆宝华, 季常勤, 衡德如, 方金莲. 莲藕新品种“武植2号”[J]. *蔬菜*, 1999, 8: 16.
- [7] 朱明超, 蔡汉, 罗伯祥, 赵苏海, 靳取. 莲藕膨大过程的观察与分析[J]. *江苏农业学报*, 2003, 19(4): 255-256.
- [8] 刁英, 韩延闯, 何建军, 王清章, 胡中立, 周明全. 莲藕研究进展[J]. *氨基酸和生物资源*, 2004, 26(1): 8-11.
- [9] 许金蓉, 周明全, 何建军, 胡中立, 王清章. 莲藕不同生长期的生理活性研究[J]. *湖北农业科学*, 2005, 2: 79-81.
- [10] 李良俊, 张晓冬, 沈新平, 孙磊, 谢科, 顾丽, 曹碚生. 莲藕淀粉 RVA 谱特征和淀粉粒形态的研究[J]. *园艺学报*, 2006, 33(3): 534-538.
- [11] 柯卫东, 李峰, 刘玉平, 孙冰. 我国莲资源及育种研究综述(上)[J]. *长江蔬菜*, 2003, 4: 5-9.
- [12] 曹国松, 李茂年, 肖利华, 彭艾琳, 程芳. 莲藕测土配方施肥技术的研究[J]. *中国蔬菜*, 2007(增刊): 63-64.
- [13] 曾广巧, 彭春苗, 韦美拉, 韦方智, 覃艳梅, 韦启光. 莲藕 3414 肥料回归试验和施肥推荐[J]. *长江蔬菜*, 2009(6): 40-42.
- [14] 熊桂云, 刘冬碧, 陈防, 张继铭, 范先鹏. 莲藕氮磷钾锌肥配合施用效应研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2009(1): 31-34, 39.
- [15] 加拿大钾磷肥研究所北京办事处主编. 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [16] 鲍士旦主编. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263-270.
- [17] 宋春风, 徐坤. 芋对氮、磷、钾吸收分配规律的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(4): 403-406.
- [18] 张锋, 王建华, 余松烈, 陈雨海, 董庆裕. 白首乌氮、磷、钾积累分配特点及其与物质生产的关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 369-373.
- [19] 蔡艺艺, 陈国防, 盛锦寿, 蔡娜娜. 氮磷钾肥对甘薯养分积累的影响[J]. *农技服务*, 2007, 24(11): 21-23.

(责任编辑: 张平)

第十届全国药用植物及植物药学术研讨会

第十届全国药用植物及植物药学术研讨会定于 2011 年 8 月 10 日至 12 日在素有“春城”美誉的云南省昆明市举行。本次会议由中国植物学会药用植物及植物药专业委员会、中国科学院昆明植物研究所联合主办, 由中国科学院昆明植物研究所植物化学与西部植物资源持续利用国家重点实验室承办。会议主题是“多学科交叉, 产学研联合, 实现西部药用植物资源的可持续利用”, 涉及药用植物资源现状与展望、药用植物与植物药资源调查及品质鉴定、药用植物与植物药生物活性物质及其作用机制、药用植物资源保护与可持续利用、药用植物资源与新药研发、中药材 GAP 种植问题与对策、民族民间药研发及产业化、西部药用植物资源实地考察等方面内容。

会议将邀请国内外相关领域院士和知名专家学者就国内外药用植物、植物药、中药、民族药和民间药等方面研究的最新进展、发展趋势及热点等作大会报告, 并设分组报告, 出版论文摘要集, 遴选优秀论文在《植物分类与资源学报》(原《云南植物研究》)发表, 提供墙报展览、专家名录等交流平台, 是药用植物及植物药学界同仁相聚一堂、共筑未来的盛会。我们热诚欢迎大家踊跃参加本次学术盛会。

会议组织委员会主席: 谭宁华, 刘吉开, 李德铎

联系人: 李丽玲 单位: 中国科学院昆明植物研究所

地址: 云南省昆明市蓝黑路 132 号 邮政编码: 650204

电子邮件: nhtan2011@mail.kib.ac.cn 办公电话(兼传真): 0871-5223262

会议网址: <http://medplant2011.kib.ac.cn>。