

盛果期日本栗生物量及养分吸收累积特性

郑瑞杰,王德永,于冬梅,刘 枫

(辽宁省经济林研究所,辽宁 大连 116031)

摘要:为了给盛果期日本栗合理施肥提供科学依据,以8年生嫁接繁育“辽栗10号”树为试验材料,采用整株解体调查的方法,研究了树体生物量的构成特点、各器官矿质营养元素含量和吸收累积分配特性。结果表明,单株生物量从休眠期冬剪后的11 147.12 g增至34 336.16 g,增幅达208.03%,其中,当年新生营养器官占50.97%,果实占16.57%,可见盛果期栗树生长量很大。叶片干物质与果实干物质比值为1:1.09。栗树各器官中N、K累积量以叶片最高,P、Ca累积量以多年生枝干最高,Mg累积量以根部最高。盛果期栗树当年每株平均吸收N 227.62 g,P 17.97 g、K 74.84 g,Ca 199.38 g,Mg 42.01 g,N和Ca吸收累积量最多,K次之,Mg和P吸收累积量较少。每生产100 kg栗果需吸收氮(N)2.73 kg、磷(P_2O_5)0.49 kg、钾(K_2O)1.08 kg,N、 P_2O_5 、 K_2O 吸收比例为1:0.18:0.40。

关键词:日本栗;生物量;器官;养分;吸收累积

中图分类号:S727.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2014)03-0087-05

Biomass and Uptake and Accumulation of Nutrition in Full Fruit Period of Japanese Chestnut

ZHENG Rui-jie, WANG De-yong, YU Dong-mei, LIU Feng

(Liaoning Institute of Economic Forestry, Dalian, Liaoning 116031, China)

Abstract: The aim of this study was to investigate the properties of accumulation and distribution of mineral elements in full fruit period of Japanese chestnut and to establish a reasonable fertilization protocol. Field experiments were conducted to analyze the characters of biomass composition, contents of mineral elements and their accumulation in different parts of chestnut trees named for “Liaoli 10” which were 8 years old. The total plant biomass of chestnut trees increased from 11 147.12g to 34 336.16g, which accounted for 208.03%, new vegetative organs of the year accounted for 50.97%, fruits for 16.57% and old vegetative organs for 32.46%, respectively. The plant growth was great in full fruit period of chestnut. The ratio of leaf dry matter and fruit dry matter was 1:1.09. The accumulation of nitrogen (N) and potassium (K) were the highest in the leaf, the accumulation of phosphorus (P) and calcium (Ca) were the highest in the perennial branches, the accumulation of magnesium (Mg) was the highest in the root. Total N, P, K, Ca and Mg amounts per plant in full fruit period of chestnut tree were N 227.62 g, P 17.97 g, K 74.84 g, Ca 199.38 g, Mg 42.01 g, respectively. The uptake and accumulation of N and Ca were the most than K, Mg and P. To attain 100 kg chestnut fruits, chestnut trees must uptake N 2.73 kg, P_2O_5 0.49 kg, K_2O 1.08 kg, N : P_2O_5 : K_2O = 1:0.18:0.40.

Key words: Japanese chestnut; biomass; organ; nutrient; uptake and accumulation

板栗是我国重要的经济林树种,素有“铁杆庄稼”之称。为壳斗科(Fagaceae)栗属(*Castanea*)植

物,栗属植物全世界共有7个种^[1-3],目前作为商品化栽培的种主要包括中国板栗、欧洲栗和日本栗^[4]。

收稿日期:2013-08-09 修回日期:2013-11-19

基金项目:辽宁省农业科技攻关计划项目(2011207003)。

作者简介:郑瑞杰,男,高级工程师,硕士,研究方向:栗树良种选育,丰产栽培技术。E-mail:zhengruijie2006@163.com

板栗作为经济树种栽培,具有投入少、易管理、见效快、经济效益高的特点。同时对土壤、地势的适应性强,具有很好的生态效益。栗树树体生长量大,养分需求多,为了保证栗树的正常发育和优质高产,获取更高的经济价值,合理施肥就成为栽培的关键技术措施。而要进行合理的施肥,就必须对树体生物量构成特点和养分吸收累积特性有充分的了解。近年来,我国学者对苹果^[5-7]、梨^[8]、猕猴桃^[9]、核桃^[10]、枣树^[11-12]、荔枝^[13]等经济林树体生物量及养分吸收累积特性进行研究;对板栗嫁接3年生树^[14]矿质营养元素在叶片、果实等器官的年动态含量^[15-17]、栗树苗期生物量及养分吸收累积特性进行了研究^[18],而对于盛果期栗树各器官生物量构成和养分累积特性的研究鲜见报道。为此,以盛果期8年生树龄的日本栗“辽栗10号”为试验材料,采用全株解体调查的方法,测定树体各器官生物量和养分含量,以了解生物量的构成特点,探讨养分的累积分配规律,为制定合理的施肥量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在辽宁省大连市金州新区湾里街道寨子沟村栗园($121^{\circ}42'30''\sim121^{\circ}57'40''E$ 、 $38^{\circ}12'30''\sim39^{\circ}09'N$)进行,年均温 $10.0^{\circ}C$,4—9月平均气温 $17.6\sim19.1^{\circ}C$,全年日照2600 h,年降水687 mm。试验地块土壤为花岗岩母质森林棕壤土,有机质含量为0.96%,碱解氮、磷、钾含量分别为 $65.12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $1.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $132.39\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,交换态钙、镁含量分别为 $0.83\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH值为5.5。

1.2 试验材料

试材为8年生日本栗(*Castanea crenata*)实生砧木嫁接树,品种“辽栗10号”,栽植密度 $3\text{ m}\times4\text{ m}$,树形为变侧主干型。采用生草栽培方式,每年每株树追施化肥(尿素、磷酸二胺、硫酸钾2:1:1混合)200 g,雨季及成熟期各进行一次全园割草处理。

1.3 试验方法

于2011年秋季在试验地选取10株长势与结果基本一致的标准树,分别调查其树高、冠幅、干高、干径及结苞数5个指标,据此5个指标的平均数选择其中3株作为当年解体调查取样树,于正常冬季修剪后(11月25日)全株取样,按地上、地下两部分分解,称量鲜重,剪碎称取适量样品在 80°C 鼓风干燥箱中烘干至恒重后称重,根据含水量计算各部分干重。

于2012年盛花期(6月20日)分别整株采集剩余7株标准树的雄花序,在 80°C 鼓风干燥箱中烘干至恒重后称其干重,分别粉碎装瓶备用。秋季分别

调查剩余7株标准树的树高、冠幅、干高、干径及结苞数,据此5个指标的平均数,选择其中3株作为解体调查取样树,于果实成熟期(9月20日)与落叶前(10月26日)对取样树进行分解取样,即把每株树分解为果肉、果壳、刺苞、叶片、1年生枝条、多年生枝干、根等7个部位,分别称量鲜重,剪碎称取适量样品在 80°C 鼓风干燥箱中烘干至恒重后称重,根据含水量计算各器官干重,各器官粉碎装瓶备用。

分别对“辽栗10号”2012年解体调查取样3株树的根、1年生枝条、多年生枝干、叶片、雄花序、果肉、果壳(带涩皮)、刺苞等8个器官的N、P、K、Ca、Mg含量进行分析测定。样品先用 $\text{H}_2\text{O}_2\text{-H}_2\text{SO}_4$ 联合消煮液消煮,氮含量测定用半微量凯氏法,磷含量测定用钒钼黄比色法,钾含量测定用火焰光度法,钙、镁含量测定用原子吸收分光光度法^[19]。

$$\text{元素累积量} = \text{器官生物量} \times \text{元素含量} \quad (1)$$

试验数据为3株树的平均数,利用Excel 2003对试验数据进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 栗树树体生物量构成特点

表1可见,2011年冬季修剪后7年生树体单株总生物量是 $11\ 147.12\text{ g}$,2012年8年生树体单株总生物量是 $34\ 636.16\text{ g}$ 。可见盛果期日本栗树体生长量很大,8年生树体当年新增生物量占总生物量的67.54%,其中营养器官(新增的根与多年生枝干、1年生枝条、叶片、雄花序)占50.97%,果实(栗果、刺苞)占16.57%,而叶片、雄花序、栗果及刺苞等这些随着物候期的进展都会脱离树体的器官占到当年新增生物量的49.82%。叶片干物质与果实干物质的比值是果树修剪的重要参数。从表1可以得出,对于“辽栗10号”,盛果期树体叶干物质与果实干物质比值为1:1.09。

2.2 栗树不同器官矿质营养元素含量及累积分配

表2可见,N含量以雄花序最高为 $22.90\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是叶片 $17.18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,多年生枝干N含量最低为 $4.33\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。P含量以雄花序最高为 $1.61\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是1年生枝条 $1.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,果壳(带涩皮)最低为 $0.14\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。K含量以果肉最高为 $7.66\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是雄花序、叶片,分别为 $5.53\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $5.52\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,多年生枝干K含量最低为 $0.57\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Ca含量以1年生枝条最高为 $22.81\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是叶片 $14.18\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,果肉最低为 $1.30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Mg含量以叶片最高为 $2.75\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是雄花序、根,分别为 $2.70\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 与 $2.39\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,刺苞Mg含量最低为 $1.04\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

表1 栗树树体生物量及各器官分配情况

Table 1 The plant biomass and distribution in different organs of chestnut trees

器官	单株生物量/g				新增生物量/g
	2011-11-25	2012-06-20	2012-09-20	2012-10-26	
根	5 137.90±283.13			9 226.30±446.42	4 088.40
1年生枝条	1 337.21±65.46			2 312.80±151.34	2 312.80
多年生枝干	4 672.01±259.07			11 244.30±652.26	5 235.08
叶片				5 209.06±293.97	5 209.06
雄花序		654.10±35.44			654.10
果肉			2 786.20±182.51		2 786.20
果壳(带涩皮)			921.20±63.04		921.20
刺苞			1 982.20±151.65		1 982.20
总计	11 147.12±604.56		34 336.16±1 751.48		23 189.04

表2 栗树不同器官矿质营养元素含量及累积分配

Table 2 The concentrations of mineral elements and accumulation and distribution in different organs of chestnut trees

器官	生物量/g	矿质营养元素含量/(g·kg ⁻¹)					单株累积量/g				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
根	9 226.30	8.80	0.74	2.02	3.37	2.39	81.19	6.83	18.64	31.09	22.05
1年生枝条	2 312.80	7.13	1.12	1.18	22.81	1.77	16.49	2.59	2.73	52.75	4.09
多年生枝干	11 244.30	4.33	0.78	0.57	6.67	1.10	48.69	8.77	6.41	75.00	12.37
叶片	5 209.06	17.18	0.73	5.52	14.18	2.75	89.49	3.80	28.75	73.86	14.32
雄花序	654.10	22.90	1.61	5.53	9.30	2.70	14.98	1.05	3.62	6.08	1.77
果肉	2 786.20	12.33	1.03	7.66	1.30	1.17	34.35	2.87	21.34	3.62	3.26
果壳(带涩皮)	921.20	5.15	0.14	0.71	2.33	1.06	4.74	0.13	0.65	2.15	0.98
刺苞	1 982.20	4.50	0.21	3.28	6.16	1.04	8.92	0.42	6.50	12.21	2.06
整株	34 336.16	—	—	—	—	—	298.86	26.46	88.64	256.77	60.90

从盛果期栗树单株养分累积分配情况来看, N元素累积量最多(198.86 g), 其次是 Ca 元素(256.77 g), 再次是 K 元素(88.64 g), Mg 元素与 P 元素最少, 分别为 60.90 g 与 26.46 g。N 主要累积分配在叶片、根、多年生枝干和果肉中, 分别占总吸收累积量的 29.94%、27.17%、16.29% 和 11.49%。P 主要累积分配在多年生枝干、根、叶片和 1 年生枝条中, 分别占总吸收累积量的 33.14%、25.81%、10.85% 和 9.79%。K 主要累积分配在叶片、果肉和根中, 分别占总吸收累积量的 32.43%、24.07% 和 21.03%。Ca 主要累积分配在多年生枝干、叶片、1 年生枝条和根中, 分别占总吸收累积量的 29.21%、28.77%、20.54% 和 12.11%。Mg 主要累积分配在根、叶片和多年生枝干中, 分别占总吸收累积量的 36.21%、23.51% 和 20.31%。

2.3 栗树养分年吸收累积特性

从表1、表2计算出盛果期栗树各器官年吸收累积量(表3), 盛果期栗树当年每株平均吸收N227.62 g、P17.97 g、K74.84 g、Ca199.38 g、Mg42.01 g, N、P、K、Ca、Mg 吸收累积比例为 12.67 : 1 : 4.16 : 11.10 : 2.34, N 和 Ca 吸收累积量最多, K 次之, Mg 和 P 吸收累积量较少, 其中营养器官(根、1 年生枝条、多年生枝干、叶片、雄花序)吸收

累积 Ca、N 较多, K、Mg、P 较少, 生殖器官(栗果、刺苞)吸收累积 N、K 较多, Ca、Mg、P 较少。根据解体调查树平均株产 8.35 kg 进行换算, 每生产 100 kg 栗果需吸收 N2.73 kg、P₂O₅0.49 kg、K₂O1.08 kg、Ca2.39 kg、Mg0.50 kg, N、P₂O₅、K₂O、Ca、Mg 吸收比例为 1 : 0.18 : 0.40 : 0.88 : 0.18。

表3 盛果期栗树各器官养分年吸收累积量

Table 3 The annual uptake and accumulation amount of mineral elements in full fruit period of chestnut trees

器官	单株新增生物量/g	单株矿质营养元素吸收累积量/g				
		N	P	K	Ca	Mg
根	4 088.40	35.98	3.03	8.26	13.78	9.77
1年生枝条	2 312.80	16.49	2.59	2.73	52.75	4.09
多年生枝干	5 235.08	22.67	4.08	2.98	34.92	5.76
叶片	5 209.06	89.49	3.80	28.75	73.86	14.32
雄花序	654.10	14.98	1.05	3.62	6.08	1.77
果肉	2 786.20	34.35	2.87	21.34	3.62	3.26
果壳(带涩皮)	921.20	4.74	0.13	0.65	2.15	0.98
刺苞	1 982.20	8.92	0.42	6.50	12.21	2.06
总计	23 189.04	227.62	17.97	74.84	199.38	42.01

3 结论与讨论

植株干物质量是衡量植株生长状况和内部代谢强弱的指标之一。对于 8 年生盛果期的日本栗, 单株生物量从休眠期冬剪后的 11 147.12 g 增至

34 336.16 g, 增幅达 208.03%, 干物质积累量的趋势与其它果树基本相似^[8,11]。

叶片是果树的光合器官、也是营养物质的消耗器官, 而果实是光合产物的分配器官, 叶片干物质与果实干物质的比值是果树修剪的重要参数。研究表明, 盛果期“辽栗 10 号”树体叶片干物质与果实干物质比值为 1 : 1.09。苹果树的叶片干物质与果实干物质的比值是 1 : 2.63^[5-7], 猕猴桃树的叶片干物质与果实干物质的比值为 1 : 5.48^[9], 核桃树的叶片干物质与果实干物质的比值为 1 : 1.47^[10], 枣树的叶片干物质与果实干物质的比值为 1 : 2.4 ~ 4.2^[12], 这表明不同的果树适宜的叶果比不尽相同。

板栗树体各器官中 N、K 累积量以叶片最高, P、Ca 累积量以多年生枝干最高, Mg 累积量以根部最高。矿质营养元素累积分配特性是指导果树合理施肥的重要参数。研究表明, 盛果期栗树当年每株平均吸收 N 227.62 g、P 17.97 g、K 74.84 g、Ca 199.38 g、Mg 42.01 g, N 和 Ca 吸收累积量最多, K 次之, Mg 和 P 吸收累积量较少, 其中营养器官(根、1 年生枝条、多年生枝干、叶片、雄花序)吸收累积 Ca、N 较多, K、Mg、P 较少, 生殖器官(栗果、刺苞)吸收累积 N、K 较多, Ca、Mg、P 较少。建议营养生长期和果实生长期两个阶段平均分配所需的 K 肥, 而 N 肥和 P 肥的 60% 应在营养生长期施用、40% 应在果实生长期施用。盛果期栗树每生产 100 kg 栗果需吸收 N 2.73 kg、P₂O₅ 0.49 kg、K₂O 1.08 kg、Ca 2.39 kg、Mg 0.50 kg, N、P₂O₅、K₂O、Ca、Mg 吸收比例为 1 : 0.18 : 0.40 : 0.88 : 0.18, N 肥、P₂O₅ 肥、K₂O 肥的吸收量低于姜国高^[14]在嫁接 3 年生板栗上的研究结论(每生产 100 kg 栗果需吸收 N 3.20 kg、P₂O₅ 0.56 kg、K₂O 1.28 kg), 说明与板栗品种“金丰”^[14]相比, “辽栗 10 号”建成果实产量的养分利用效率较高。按照果树合理施肥量=(果树吸收量-土壤供应量)/肥料利用率, 土壤供应量按吸收量的 1/3 计^[8,11], 氮、磷、钾肥的肥料利用率按 50%、20% 和 60% 计算^[8], 本研究推荐盛果期栗树每生产 100 kg 栗果 N、P₂O₅、K₂O 肥施用量为 N 3.63 kg、P₂O₅ 1.64 kg、K₂O 1.20 kg, N、P₂O₅、K₂O 施肥比例为 3.03 : 1.37 : 1。由于栗树栽培品种、树龄和栽培条件、技术及管理措施的差异, 不同地区栗树的施肥用量、配比也有所不同, 生产中应结合实际情况制定施肥方案。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 第二十二卷. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 黄宏文. 从世界栗属植物研究的现状看中国栗属资源保护的重要性 [J]. 武汉植物学研究, 1998, 16(2): 171-176.
HUANG H W. Review of current research of the world *Castanea* species and importance of germplasm conservation of China native *Castanea* species [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 1998, 16(2): 171-176. (in Chinese)
- [3] 郑瑞杰, 王德永, 陈喜忠. 辽宁省栗树科研与产业现状及发展趋势 [J]. 辽宁林业科技, 2012(5): 40-42.
- [4] 查永成, 郁怡汶. 板栗栽培新技术 [M]. 杭州: 杭州出版社, 2010
- [5] 樊红柱, 同延安, 吕世华, 等. 苹果树体氮含量与氮累积量的年周期变化 [J]. 中国土壤与肥料, 2008(4): 15-17.
- [6] 樊红柱, 同延安, 赵营, 等. 苹果树体磷素动态规律与施肥管理 [J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 73-77.
- [7] 樊红柱, 同延安, 吕世华, 等. 苹果树体钾含量与钾累积量的年周期变化 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(5): 169-172.
FAN H Z, TONG Y A, LV S H, et al. Annual change of potassium content and accumulation in apple tree [J]. Journal of Northwest A & F University: Nat. Sci. Ed., 2007, 35(5): 169-172. (in Chinese)
- [8] 柴仲平, 王雪梅, 陈波浪, 等. 库尔勒香梨年生长期生物量及养分积累变化规律 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 656-663.
CHAI Z P, WANG X M, CHEN B L, et al. Annual biomass and nutrient accumulation of Korla fragrant pear [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(3): 656-663. (in Chinese)
- [9] 王建, 同延安. 猕猴桃树对氮素吸收、利用和贮存的定量研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1170-1177.
WANG J, TONG Y A. Study on absorption, utilization and storage of nitrogen of kiwifruit tree [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(6): 1170-1177. (in Chinese)
- [10] 梁智, 周勃, 邹耀湘. 核桃树体生物量构成及矿质营养元素累积特性研究 [J]. 果树学报, 2012, 29(1): 139-142.
LIANG Z, ZHOU B, ZOU Y X. Compositional analysis of biomass and accumulation properties of mineral elements in walnut [J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(1): 139-142. (in Chinese)
- [11] 王泽, 盛建东, 陈波浪, 等. 矮密栽培红枣树生物量及养分积累动态研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 169-175.
WANG Z, SHENG J D, CHEN B L, et al. Study on biomass and nutrient accumulation of *Ziziphus jujube* tree under dwarfing and high density culture [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(1): 169-175. (in Chinese)
- [12] 梁智, 张计峰. 两种枣树矿质营养元素累积特性研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 688-692.
LIANG Z, ZHANG J F. Accumulation properties of mineral elements in two types of Chinese jujube [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2011, 17(3): 688-692. (in Chinese)
- [13] 陈菁, 樊小林, 孙光明. 荔枝树体生物量的构成特点 [J]. 果树学报, 2008, 25(6): 860-863.
CHEN J, FAN X L, SUN G M. Compositional analysis of litchi biomass [J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(6): 860-863. (in Chinese)
- [14] 姜国高, 张毅, 刘寄宪. 有关板栗经济利用系数的研究 [J]. 果树科学, 1988, 5(1): 26-28.

- [15] 郑瑞杰,王德永,雷鸣.日本栗叶片矿质营养元素含量年动态变化的研究[J].西北林学院学报,2008,23(4):14-17.
ZHENG R J, WANG D Y, LEI M. Annual dynamic changes of the mineral nutrition contents in leaves of *Castanea crenata* Sieb. et Zucc. [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(4): 14-17. (in Chinese)
- [16] 刘广平.板栗叶片中氮、磷、钾年周期变化规律研究[J].辽宁林业科技,2004(5):20-21.
- [17] 刘广平.栗树果实发育过程中氮、磷、钾含量变化的研究[J].经济林研究,2005,23(1):50-51.
LIU G P. The change of nitrogen phosphorus potassium content in the various fruit development phases in Chinese chestnut[J]. Nonwood Forest Research, 2005, 23 (1): 50-51. (in Chinese)
- [18] 郑瑞杰,王德永,刘兵.栗树苗期干物质累积与氮、磷、钾吸收特性[J].辽宁林业科技,2012(4):12-13.
ZHENG R J, WANG D Y, LIU B. Dry matter accumulation and NPK uptake characteristics in chestnutseedling [J]. Journal of Liaoning Forestry Science and Technology, 2012 (4): 12-13. (in Chinese)
- [19] 张硕新,王建让,陈海滨,等.秦岭太白山高山灌丛的生物量及其营养元素含量[J].西北林学院学报,1995,10(1):15-20.
ZHANG S X, WANG J R, CHEN H B, et al. Biomass and nutrient contents of alpine brushes in Taibai mountain[J]. Journal of Northwest Forestry College, 1995, 10(1): 15-20. (in Chinese)

(上接第 82 页)

- [3] 田志平,罗建让.水生植物在园林中的应用[J].西北林学院学报,2007,22(6):180-182.
TIAN Z P, LUO J R. The application of aquatic plant in landscape[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22 (6): 180-182. (in Chinese)
- [4] JAYAWEERA M W, KASTURIARACHCHI J C. Removal of nitrogen and phosphorus from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) [J]. Water Science Technology, 2004, 50(6):217-225.
- [5] 杨曼,吴小刚,张维昊,等.富营养化水体生态修复中水生植物的应用研究[J].环境科学与技术,2007,30(7):98-103.
- [6] 黄亮,吴乃成,唐涛,等.水生植物对富营养化水系统中氮、磷的富集与转移[J].中国环境科学,2010,30(Supp. 1):1-6.
- [7] 葛滢,王晓月,常杰.不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究[J].环境科学学报,1999,19(6):690-692.
GE Y, WANG X Y, CHANG J. Comparative studies on the purification ability of plants in different degree eutrophic water[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(6): 690-692. (in Chinese)
- [8] 葛滢,常杰,王晓月,等.两种程度富营养化水中不同植物生理生态特性与净化能力的关系[J].生态学报,2000,20(6):1050-1055.
GE Y, CHANG J, WANG X Y, et al. Relationship between the physiological characters and purification ability of different plants in waters with two eutrophic levels[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 1050-1055. (in Chinese)
- [9] 常会庆,李娜,徐晓峰.三种水生植物对不同形态氮素吸收动力学研究[J].生态环境,2008,17(2):511-514.
- [10] KORNER S, VERMAAT J E. The relative importance of *Lemna gibba* L. bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic wastewater [J]. Water Research, 1998, 32(12):47-54.
- [11] 胡彦春,魏铮,洪剑明.两种水生植物净化生活污水的影响因素研究[J].北方园艺,2008(6):31-33.
HU Y C, WEI Z, HONG J M. Study of the affecting factors on purifying domestic sewage by two hydrophytes[J]. Northern Horticulture, 2008(6):31-33. (in Chinese)
- [12] COLEMAN J, HENCH K, GARBUZZ K, et al. Treatment of domestic wastewater by three wetland plant species in constructed wetlands[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2001, 128(3/4):283-295.
- [13] 孙瑞莲,张建,王文兴.8种挺水植物对污染水体的净化效果比较[J].山东大学学报:理学版,2009,44(1):12-16.
SUN R J, ZHANG J, WANG W X. Effect on polluted water purification by eight emergent plants[J]. Journal of Shandong University: Natural Science, 2009, 44(1): 12-16. (in Chinese)
- [14] 何池全,赵魁义,叶居新.石菖蒲净化富营养化水体的研究[J].南昌大学学报:理科版,1999,23 (1):73-76.
HE C Q, ZHAO K Y, YE J X. A study on decontaminating eutrophic water with *Acorus tatarinowii* [J]. Journal of Nan-chang University: Natural Science, 1999, 23 (1): 73-76. (in Chinese)
- [15] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].4 版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [16] 王庆海,段留生,李瑞华,等.几种水生植物净化能力比较[J].华北农学报,2008,23(2):217-222.
WANG Q H, DUAN L S, LI R H, et al. Comparison of nutrient uptake from rural domestic sewage of aquatic plants[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23 (2): 217-222. (in Chinese)
- [17] ANDERSON M R, KALFF J. Submerged aquatic macrophyte biomass in relation to sediment characteristics in ten temperate lakes[J]. Freshwater Biology, 1988, 19(1):115-121.
- [18] 金卫红,付融冰,顾国维.人工湿地中植物生长特性及其对 TN 和 TP 的吸收[J].环境科学研究,2007,20(3):75-80.
- [19] 周小平,王建国,薛利红,等.浮床植物系统对富营养化水体中氮、磷净化特征的初步研究[J].应用生态学报,2005,16(11):2199-2203.
ZHOU X P, WANG J G, XUE L H, et al. N and P removal characters of eutrophic water body under planted float [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16 (11): 2199-2203. (in Chinese)