

不同施肥种类对屏边县秃杉种子园林木生长的影响

王绍昌, 陈友祥*, 王丽琼, 邱正启, 周亚燕 (屏边苗族自治县林业和草原局, 云南红河 661209)

摘要 [目的]探索不同施肥种类对秃杉林木生长的影响。[方法]连续3年对秃杉种子园进行不同肥种施肥试验,研究树高、胸径和冠幅的生长情况。[结果]施氮肥、磷肥、钾肥或复合肥对秃杉母树的生长均有一定的促进作用,肥种对树高、胸径和冠幅的影响具有一致性,其影响表现为氮肥>磷肥>钾肥>复合肥>不施肥。随着施肥年度的增加,施肥的效应愈加显现,与CK相比,4种处理的树高、胸径和冠幅的提高率均表现为第3年>第2年>第1年。每年株施1 kg 尿素对促进秃杉母树的生长效果最好,其次是施磷酸二铵。施尿素第1年树高、胸径和冠幅分别提高14.80%、5.89%和7.14%,第2年分别提高17.51%、14.07%和17.81%,第3年分别提高18.73%、18.26%和30.56%;施磷酸二铵第1年分别比CK提高10.15%、2.18%和6.12%,第2年分别提高12.47%、8.41%和11.56%,第3年分别提高13.27%、12.10%和21.66%。[结论]每年株施1 kg 尿素可较好地促进秃杉林木生长。

关键词 施肥措施;秃杉;种子园;生长量;影响

中图分类号 S 791.28 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)19-0126-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.19.030



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Different Fertilization Types on the Growth of *Taiwania flousiana* Seed Orchard in Pingbian County

WANG Shao-chang, CHEN You-xiang, WANG Li-qiong et al (Forestry and Grassland Bureau of Pingbian Miao Autonomous County, Honghe, Yunnan 661209)

Abstract [Objective] To explore the effects of different fertilization types on the growth of *Taiwania flousiana* forest. [Method] Fertilization experiments with different fertilizers were carried out in the seed orchard of *Taiwania flousiana* for three consecutive years to study the growth of tree height, DBH and crown width. [Result] The application of nitrogen fertilizer, phosphorus fertilizer, potassium fertilizer or compound fertilizer can promote the growth of the mother tree of *Taiwania flousiana*. The effects of fertilizer species on tree height, DBH and crown width are consistent. The effects are as follows: nitrogen fertilizer > phosphorus fertilizer > potassium fertilizer > compound fertilizer > no fertilizer. With the increase of fertilization year, the effect of fertilization became more obvious. Compared with CK, the increase rates of tree height, DBH and crown width of the four treatments were in the third year > the second year > the first year. Applying 1 kg urea per plant per year had the best effect on promoting the growth of the mother tree of *Taiwania flousiana*, followed by diammonium phosphate. Applying 1 kg urea per plant per year had the best effect on promoting the growth of the mother tree of *Taiwania flousiana*, followed by diammonium phosphate. In the first year, the height, DBH and crown width of the tree were increased by 14.80%, 5.89% and 7.14% respectively compared with CK, and 17.51%, 14.07% and 17.81% respectively in the second year, and 18.73%, 18.26% and 30.56% respectively compared with CK in the third year. In the first year after diammonium phosphate application, the tree height, DBH and crown width were increased by 10.15%, 2.18% and 6.12% respectively compared with CK; in the second year, the tree height, DBH and crown width were increased by 12.47%, 8.41% and 11.56% respectively; in the third year, they were increased by 13.27%, 12.10% and 21.66% respectively. [Conclusion] Applying 1 kg urea per plant per year can promote the growth of *Taiwania flousiana*.

Key words Fertilization measures; *Taiwania flousiana*; Seed orchard; Growth amount; Influence

秃杉(*Taiwania flousiana* Gaussen)是第三纪古热带植物区系中古老孑遗植物,属国家一级濒危保护树种。秃杉的野生资源主要集中在23°53′~30°20′N, 98°50′~108°55′E,在我国主要分布于云南西部、西北部(延伸到缅甸),湖北西部及贵州东南部^[1]。秃杉寿命长,树干圆满通直、树皮薄、出材率高、材质好,是培育大径材、特大径材的优良用材树种^[2]。对秃杉种子园的研究主要集中于优树选择、种子园区划与配置、无性系嫁接等营建技术方面^[3-8],对种子园土壤、植株养分也开展了研究^[9-10]。有关秃杉种子园施肥对其生长的影响的研究鲜见报道,对种子园开展不同肥种对秃杉生长影响的试验,可为秃杉种子园的经营管理提供科学依据和生产指导。

1 材料与方法

1.1 秃杉种子园概况

秃杉种子园位于云南省屏边县县城

东北部,距县城距离约8 km,紧临昆河公路。地处103°43′30″E, 23°0′30″N,海拔1 300~1 370 m。年平均气温16.5℃,最低月平均气温9.0℃,最高月平均气温21.5℃,年均活动积温5 105℃·d,年无霜期330 d,年日照时数1 555 h,年降雨量1 650 mm。土壤主要为山地黄壤,土层厚,土壤肥沃,整体连片,坡面整齐,坡向一致,坡度8°~25°。园址周围5 000 m范围内无其他秃杉种植,隔离条件好。林木平均树高4.21 m,平均胸径11.83 cm,平均冠幅2.83 m,平均枝下高1.74 m。

1.2 试验设计 采用随机区组试验设计,5个处理,3次重复,每小区10株,对秃杉母树进行追施氮、磷、钾试验。处理①:尿素(总N≥46.4%);处理②:磷酸二铵[(N+P₂O₅)≥64%,N:P₂O₅:K₂O=18:46:0];处理③:高钾蓝(总养分≥49%,N:P₂O₅:K₂O=16:5:28);处理④:复合肥(总养分≥25%,N:P₂O₅:K₂O=11:8:6);处理⑤:不施肥(CK)。

1.3 试验方法 每株施肥量为1 kg,于2016—2019年每年5—6月施肥1次。施肥时沿树冠外缘,挖一条环状施肥沟,施肥沟深度及宽度均在20 cm左右,将肥料均匀施入沟中并覆土埋好。

基金项目 云南省屏边县国家秃杉良种基地“秃杉人工林分质量精准提升经营技术推广示范(云[2019]TG04)”。

作者简介 王绍昌(1966—),男,云南石屏人,高级工程师,从事森林资源培育研究。*通信作者,高级工程师,从事森林资源培育研究。

收稿日期 2021-11-06

1.4 调查统计 施肥后,每年年底调查母树的树高、胸径和冠幅,用 Excel 进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 施肥 1 年对秃杉母树生长的影响 由表 1、2 可知,施肥 1 年后,树高在处理间和重复间差异均极显著,胸径在处理间差异不显著,重复间差异极显著,冠幅在处理间差异不显著,重复间差异极显著。这说明施肥 1 年对树高生长的影响较大,对胸径和冠幅生长的影响较小。施肥能促进秃杉母树的生长,以氮肥的施肥效果最好,不同肥种对树高、胸径和

冠幅的影响具有一致性,对生长量的影响表现为处理①>处理②>处理③>处理④>处理⑤(CK)。处理①~处理⑤(CK)的树高分别为 5.43、5.21、5.00、4.87 和 4.73 m,胸径分别为 13.13、12.67、12.60、12.57 和 12.40 cm,冠幅分别为 3.15、3.12、3.07、3.00 和 2.94 m。

经多重比较可知,在树高方面,处理①和处理②与 CK 间差异极显著,处理③与 CK 间差异显著,表明施氮肥、磷肥或钾肥均能有效促进秃杉母树的树高生长,可分别提高 14.80%、10.15%和 5.71%(表 1)。

表 1 施肥 1 年后秃杉母树生长状况
Table 1 Growth status of mother tree of *Taiwania flousiana* after one year of fertilization

处理 Treatment	平均值 Mean			标准差 Standard deviation			变异系数 Coefficient of variation			比 CK 提高 Higher than CK/%		
	树高 Tree height m	胸径 DBH cm	冠幅 Crown width//m	树高 Tree height m	胸径 DBH cm	冠幅 Crown width//m	树高 Tree height	胸径 DBH	冠幅 Crown width	树高 Tree height	胸径 DBH	冠幅 Crown width
①	5.43 aA	13.13	3.15	0.56	2.21	0.22	0.10	0.17	0.07	14.80	5.89	7.14
②	5.21 abAB	12.67	3.12	0.63	2.25	0.49	0.12	0.18	0.16	10.15	2.18	6.12
③	5.00 bcBC	12.60	3.07	0.42	2.10	0.13	0.08	0.17	0.04	5.71	1.61	4.42
④	4.87 cdC	12.57	3.00	0.59	1.66	0.50	0.12	0.13	0.17	2.96	1.37	2.04
⑤(CK)	4.73 dC	12.40	2.94	0.56	0.53	0.22	0.12	0.04	0.08	—	—	—

注:同列不同大、小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平差异显著
Note: Different capital and lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.01 and 0.05 level

表 2 施肥 1 年后秃杉母树生长量方差分析
Table 2 Variance analysis of growth of mother tree of *Taiwania flousiana* after one year of fertilization

性状 Character	差异源 Source of difference	SS	df	MS	F	P	$F_{\alpha=0.05}$	$F_{\alpha=0.01}$
树高 Tree height	处理	0.926 1	4	0.231 5	16.684 6**	0.000 6	3.837 9	7.006 1
	重复	2.961 1	2	1.480 6	106.694 2**	1.71E-06	4.459 0	8.649 1
	误差	0.111 0	8	0.013 9				
	总计	3.998 2	14					
胸径 DBH	处理	0.909 2	4	0.227 3	0.376 7	0.819 4	3.837 9	7.006 1
	重复	30.054 5	2	15.027 2	24.904 5**	0.000 4	4.459 0	8.649 1
	误差	4.827 1	8	0.603 4				
	总计	35.790 8	14					
冠幅 Crown width	处理	0.097 2	4	0.024 3	0.650 7	0.642 4	3.837 9	7.006 1
	重复	1.394 5	2	0.697 2	18.677 9**	0.001 0	4.459 0	8.649 1
	误差	0.298 6	8	0.037 3				
	总计	1.790 3	14					

注: ** 表示差异极显著($P<0.01$)
Note: ** indicates extremely significant difference($P<0.01$)

2.2 施肥 2 年对秃杉母树生长的影响 由表 3、4 可知,施肥能促进秃杉母树的生长,施肥效果最好的是氮肥,不同肥种对树高、胸径和冠幅的影响具有一致性,对生长量的影响表现为处理①>处理②>处理③>处理④>处理⑤(CK)。处理①~处理⑤(CK)的树高分别为 5.84、5.59、5.32、5.14 和 4.97 m,胸径分别为 14.51、13.79、13.18、13.15 和 12.72 cm,冠幅分别为 3.77、3.57、3.49、3.33 和 3.20 m。施肥 2 年后,树高在处理间差异不显著,重复间差异极显著,胸径在处理间和重复间差异均极显著,冠幅在处理间和重复间差异均极显著。说明施肥 2 年对树高生长的影响较小,对胸径和冠幅生长的影响较大。

经多重比较,在树高方面,处理①与 CK 间差异显著;在

胸径方面,处理①与 CK 间差异极显著,处理②与 CK 间差异显著;在冠幅方面,处理①和处理②与 CK 间差异极显著,处理③与 CK 间差异显著。表明施氮肥对树高、胸径和冠幅生长的促进效果明显,可分别提高 17.51%、14.07%和 17.81%;施磷肥对胸径和冠幅生长的促进效果明显,可分别提高 8.41%和 11.56%;施钾肥对冠幅生长的促进效果明显,可提高 9.06%(表 3)。

2.3 施肥 3 年对秃杉母树生长的影响 由表 5、6 可知,施肥能有效促进秃杉母树的生长,施肥效果最好的是氮肥,不同肥种对树高、胸径和冠幅的影响具有一致性,对生长量的影响表现为处理①>处理②>处理③>处理④>处理⑤(CK)。处理①~处理⑤(CK)树高分别为 6.53、6.23、5.91、5.70 和

5.50 m,胸径分别为 15.93、15.10、14.13、14.10 和 13.47 cm,冠幅分别为 4.40、4.10、3.80、3.66 和 3.37 m。施肥 3 年后,树高在处理间和重复间差异均极显著,胸径在处理间和重复

间差异均极显著,冠幅在处理间差异显著、重复间差异极显著,说明施肥 3 年对树高、胸径和冠幅生长的影响均较大。

表 3 施肥 2 年后秃杉母树生长状况

Table 3 Growth status of mother tree of *Taiwania flousiana* after 2 years of fertilization

处理 Treatment	平均值 Mean			标准差 Standard deviation			变异系数 Coefficient of variation			比 CK 提高 Higher than CK//%		
	树高 Tree height m	胸径 DBH cm	冠幅 Crown width//m	树高 Tree height m	胸径 DBH cm	冠幅 Crown width//m	树高 Tree height	胸径 DBH	冠幅 Crown width	树高 Tree height	胸径 DBH	冠幅 Crown width
①	5.84 a	14.51 aA	3.77 aA	0.41	2.20	0.81	0.07	0.15	0.21	17.51	14.07	17.81
②	5.59 ab	13.79 abAB	3.57 abAB	0.85	2.62	0.78	0.15	0.19	0.22	12.47	8.41	11.56
③	5.32 ab	13.18 bcB	3.49 bABC	0.53	2.61	0.74	0.10	0.20	0.21	7.04	3.62	9.06
④	5.14 b	13.15 bcB	3.33 bcBC	0.65	2.61	0.57	0.13	0.20	0.17	3.42	3.38	4.06
⑤(CK)	4.97 b	12.72 cB	3.20 cC	0.54	2.00	0.60	0.10	0.16	0.19	—	—	—

注:同列不同大、小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平差异显著
Note:Different capital and lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.01 and 0.05 level

表 4 施肥 2 年后秃杉母树生长量方差分析

Table 4 Variance analysis of growth of mother tree of *Taiwania flousiana* after 2 years of fertilization

性状 Character	差异源 Source of difference	SS	df	MS	F	P	F _{α=0.05}	F _{α=0.01}
树高 Tree height	处理	1.468 2	4	0.367 1	3.386 2	0.066 8	3.837 9	7.006 1
	重复	4.054 1	2	2.027 0	18.700 3**	0.001 0	4.459 0	8.649 1
	误差	0.867 2	8	0.108 4				
	总计	6.389 5	14					
胸径 DBH	处理	5.784 0	4	1.446 0	8.399 4**	0.005 8	3.837 9	7.006 1
	重复	57.312 8	2	28.656 4	166.455 4**	3.03E-07	4.459 0	8.649 1
	误差	1.377 3	8	0.172 2				
	总计	64.474 1	14					
冠幅 Crown width	处理	0.567 6	4	0.141 9	8.152 4**	0.006 3	3.837 9	7.006 1
	重复	4.845 8	2	2.422 9	139.194 2**	6.09E-07	4.459 0	8.649 1
	误差	0.139 3	8	0.017 4				
	总计	5.552 7	14					

注: ** 表示差异极显著(P<0.01)
Note: ** indicates extremely significant difference(P<0.01)

经多重比较,树高方面,处理①、处理②和处理③与 CK 间差异极显著;胸径方面,处理①与 CK 间差异极显著,处理②与 CK 间差异显著;冠幅方面,处理①与 CK 间差异极显著,处理②与 CK 间差异显著。表明施氮肥对秃杉树高、胸径和冠幅生长的促进效果明显,可分别提高 18.73%、18.26%和 30.56%;施磷肥对秃杉树高、胸径和冠幅生长的促进效果也较明显,可分别提高 13.27%、12.10%和 21.66%;施钾肥对树高生长亦有促进作用,可提高 7.45%(表 5)。

表 5 施肥 3 年后秃杉母树生长状况

Table 5 Growth status of mother tree of *Taiwania flousiana* after 3 years of fertilization

处理 Treatment	平均值 Mean			标准差 Standard deviation			变异系数 Coefficient of variation			比 CK 提高 Higher than CK//%		
	树高 Tree height m	胸径 DBH cm	冠幅 Crown width//m	树高 Tree height m	胸径 DBH cm	冠幅 Crown width//m	树高 Tree height	胸径 DBH	冠幅 Crown width	树高 Tree height	胸径 DBH	冠幅 Crown width
①	6.53 aA	15.93 aA	4.40 aA	0.74	1.86	0.72	0.11	0.12	0.16	18.73	18.26	30.56
②	6.23 bA	15.10 abAB	4.10 abAB	0.70	1.61	0.62	0.11	0.11	0.15	13.27	12.10	21.66
③	5.91 cB	14.13 bcAB	3.80 bcAB	0.54	1.65	0.72	0.09	0.12	0.19	7.45	4.90	12.76
④	5.70 cdBC	14.10 bcAB	3.66 bcAB	0.66	1.06	0.14	0.12	0.08	0.04	3.64	4.68	8.61
⑤(CK)	5.50 dC	13.47 cB	3.37 cB	0.60	1.17	0.45	0.11	0.09	0.13	—	—	—

注:同列不同大、小写字母分别表示处理间在 0.01 和 0.05 水平差异显著
Note:Different capital and lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.01 and 0.05 level

3 小结

(1)连续 3 年施用不同肥种对秃杉种子园施肥对比试验表明,施氮肥、磷肥、钾肥、复合肥对秃杉母树的生长均有一定的促进作用,但不同肥种对秃杉母树生长的影响不同,施肥效果最好的是氮肥,不同肥种对树高、胸径和冠幅生长的

影响具有一致性,对生长量的影响均表现为氮肥>磷肥>钾肥>复合肥>不施肥。

(2)随着施肥年度的增加,施肥的效应愈加显现。施肥第 1 年,树高在处理间差异显著;施肥第 2 年,胸径和冠幅在处理间差异显著;施肥第 3 年,树高、胸径和冠幅在处理间差

异均显著。与 CK 相比,4 个处理树高、胸径和冠幅的提高率 均表现为第 3 年>第 2 年>第 1 年。

表 6 施肥 3 年后秃杉母树生长量方差分析
Table 6 Variance analysis of growth of *Taiwania flousiana* mother tree after 3 years of fertilization

性状 Character	差异源 Source of difference	SS	df	MS	F	P	$F_{\alpha=0.05}$	$F_{\alpha=0.01}$
树高 Tree height	处理	2.035 6	4	0.508 9	26.518 5**	0.000 1	3.837 9	7.006 1
	重复	4.115 9	2	2.057 9	107.240 2**	1.67E-06	4.459 0	8.649 1
	误差	0.153 5	8	0.019 2				
	总计	6.305 0	14					
胸径 DBH	处理	11.389 3	4	2.847 3	8.861 0**	0.004 9	3.837 9	7.006 1
	重复	19.956 0	2	9.978 0	31.051 9**	0.000 2	4.459 0	8.649 1
	误差	2.570 7	8	0.321 3				
	总计	33.916 0	14					
冠幅 Crown width	处理	1.908 1	4	0.477 0	6.145 1*	0.014 6	3.837 9	7.006 1
	重复	2.682 3	2	1.341 1	17.276 6**	0.001 2	4.459 0	8.649 1
	误差	0.621 0	8	0.077 6				
	总计	5.211 4	14					

注: ** 表示差异极显著($P<0.01$), * 表示差异显著($P<0.05$)
Note: ** indicates extremely significant difference($P<0.01$), * indicates significant difference($P<0.05$)

(3) 每年株施 1 kg 尿素对促进秃杉母树的生长效果最好,施肥第 1 年树高、胸径和冠幅分别为 5.43 m、13.13 cm 和 3.15 m,CK 的树高、胸径和冠幅分别为 4.73 m、12.40 cm 和 2.94 m,分别比 CK 提高 14.80%、5.89%和 7.14%;施肥第 2 年树高、胸径和冠幅分别为 5.84 m、14.51 cm 和 3.77 m,CK 的树高、胸径和冠幅分别为 4.97 m、12.72 cm 和 3.20 m,分别比 CK 提高 17.51%、14.07%和 17.81%;施肥第 3 年树高、胸径和冠幅分别为 6.53 m、15.93 cm 和 4.40 m,CK 的树高、胸径和冠幅分别为 5.50 m、13.47 cm 和 3.37 m,分别比 CK 提高 18.73%、18.26%和 30.56%。每年株施 1 kg 磷酸二铵对促进秃杉母树的生长效果较好,施肥第 1 年树高、胸径和冠幅分别比 CK 提高 10.15%、2.18%和 6.12%;施肥第 2 年树高、胸径和冠幅分别比对照提高 12.47%、8.41%和 11.56%;施肥第 3 年树高、胸径和冠幅分别比对照提高 13.27%、12.10%和 21.66%。

参考文献

[1] 陶国祥. 秃杉[M]. 昆明:云南科技出版社,2001.
[2] 王庆华,陈强,刘永刚,等. 基于数量化回归模型的秃杉优树选择[J]. 西南林业大学学报,2017,37(2):41-46.
[3] 朱火生,朱光汉,胡德活,等. 秃杉种子园营建和管理技术[J]. 广东林业科技,2004,20(2):26-29.
[4] 徐秀琴,刘金亮,马秀英. 种子园营建技术[J]. 河北林业科技,2006(3):48-49.
[5] 白中萍. 秃杉优树选择及无性系种子园营建技术研究[J]. 林业调查规划,2004,29(2):61-63,70.
[6] 楚永兴,张荣贵,陈有祥,等. 屏边县秃杉无性系种子园营建技术[J]. 林业调查规划,2017,42(1):106-110,142.
[7] 朱建华. 秃杉第 1 代无性系种子园营建技术研究[J]. 福建林业科技,2012,39(4):50-52,56.
[8] 王绍昌. 屏边县秃杉种子园的营建技术[J]. 西部林业科学,2009(增刊):95-98.
[9] 赖瑞政. 秃杉种子园植株养分测定初报[J]. 绿色科技,2018(19):192-193,202.
[10] 林贤山. 秃杉种子园不同坡位及坡向土壤化学性质分析初报[J]. 绿色科技,2018(13):16-20.

(上接第 113 页)

[20] 颜薇芝,张汉强,余从田,等. 1 株异养硝化好氧反硝化不动杆菌的分离及脱氮性能[J]. 环境工程学报,2017,11(7):4419-4428.
[21] 汤丽娟,罗固源,许晓毅,等. 好氧反硝化菌 T7 用于废水脱氮特性的研究[J]. 三峡环境与生态,2008,1(3):24-27.
[22] BURRI R,STUTZER A. Über nitrat zerstörende bakterien und den durch dieselben bedingten stickstoffverlust[J]. Zentralbl Bakteriell Parasitenkd Abt II,1895,1:257-265.
[23] SU J J,LIU B Y,LIU C Y. Comparison of aerobic denitrification under high oxygen atmosphere by *Thiosphaera pantotropha* ATCC 35512 and *Pseudomonas stutzeri* SU2 newly isolated from the activated sludge of a piggyery wastewater treatment system[J]. Journal of applied microbiology, 2001,90(3):457-462.
[24] ZHANG J B,WU P H,HAO B,et al. Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by the bacterium *Pseudomonas stutzeri* YZN-001[J]. Bioresource technology,2011,102(21):9866-9869.
[25] 陈均利,彭英湘,刘锋,等. 异养硝化-好氧反硝化菌脱氮特性研究进展[J]. 环境科学与技术,2020,43(5):41-48.
[26] JI B,WANG H Y,YANG K. Nitrate and COD removal in an upflow biofilter under an aerobic atmosphere[J]. Bioresource technology,2014,158:156-160.
[27] BARBER M J,DESAI S K,MAROHNIC C C,et al. Synthesis and bacterial expression of a gene encoding the heme domain of assimilatory nitrate reductase[J]. Archives of biochemistry and biophysics,2002,402(1):38-50.
[28] 张徐畅,陈超,刘秋. 5 株海洋石油降解菌 *Halomonas* spp. 的降解特性分析[J]. 大连民族大学学报,2021,23(1):16-20.
[29] 翟栓丽,侯心然,张强,等. 嗜盐石油降解菌 *Halomonas* sp. 1-3 降解石油烃特性研究[J]. 农业环境科学学报,2022,41(1):84-90.
[30] 孙雪梅,李秋芬,张艳,等. 一株海水异养硝化-好氧反硝化菌系统发育及脱氮特性[J]. 微生物学报,2012,52(6):687-695.
[31] 沈辉,万夕和,蒋葛,等. 两株海洋异养好氧硝化-反硝化细菌的筛选、鉴定及能力测试[J]. 应用与环境生物学报,2017,23(1):157-163.
[32] 王欢,汪苹,张海波. 一株戴尔福特菌的异养硝化与好氧反硝化性能研究[J]. 北京工商大学学报(自然科学版),2008,26(2):1-5.
[33] 宋长太. 淡水养殖尾水达标排放相关知识解读[J]. 渔业致富指南,2018(20):20-22.
[34] 张元. 池塘养殖水体中土著反硝化细菌的分离与初步鉴定[J]. 水生生态学杂志,2018,39(5):111-115.
[35] 肖国华,高晓田,赵振良,等. 白洋淀网箱养殖环境微生物原位修复技术研究[J]. 河北渔业,2011(2):4-12,30.