

浮床栽培植物生长特性的研究

黎华寿, 聂呈荣, 方文杰, 黎永锋

(华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642)

摘要: 在不施肥条件下, 利用富营养化鱼塘人工浮床无土栽培水稻(*O. sativa* L.)、香根草[*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash]、美人蕉(*Canna indica* L.)和水芋头[*Colocasia esculenta* (L.) Schott]。与陆地常规栽培相比, 4 种植物均能生长, 其中水稻、美人蕉的生物量、株高、叶绿素含量、根系活力等变化较小, 香根草的生物量下降明显, 水芋头的根冠比失调、球茎产量下降, 美人蕉可获得和陆栽相仿甚至更好的株型和生物量, 表明水稻、美人蕉适宜在富营养化水体浮床无土栽培。

关键词: 水面浮床栽培; 无土栽培; 生长特性

中图分类号: S317; Q945

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2003)02-0012-04

宋祥甫等^[1-4]的试验研究表明, 水面浮床无土种植水稻、花卉等作物处理废水, 净化富营养化水体, 既保护环境、美化景观, 又充分利用资源, 缓解土地资源紧缺的矛盾, 增加经济收益。有关浮床作物净化水质效果及其机理的研究已有不少报道^[3-9], 但对浮床植物的生态适应性特别是其生长特性变化的研究开展得不多, 且集中在浮床水稻、美人蕉的根系形态及生长特性等方面^[3, 7, 8]。浮床作物与陆栽作物的生态环境条件有较大差异, 可能会造成其生长特性差异并导致生产力及经济性能的差异, 探讨这种差异及其原因, 对于进一步完善和推广浮床作物技术, 具有重要的现实意义。

1 材料与方法

试验在华南农业大学校内进行, 设浮床栽培(A)和常规陆地栽培(简称陆栽, B)对照 2 种处理, 浮床材料为白色泡沫聚乙烯板(80 cm×40 cm×6 cm), 浮床按株行距 20 cm×30 cm 打孔后放置塑料粗网杯为定植杯, 每个定植杯用碎石充填固定种植幼苗 1 株, 每种植物各种 2 块聚乙烯板, 共 12 株。把所有浮床(共 8 块)用尼龙绳连接后固定于塘边木桩。另在塘边肥力中等的旱地按同样密度种植相应的植株作为对照, 常规栽培水稻对照则种在华南农业大学实验农场水田。大田水稻按高产栽培管理, 其余处理均不施肥、用药和进行人工管理。

试验用水稻品种为七山占, 美人蕉为七叶红色大花美人蕉, 香根草、水芋头均为常规品种。鱼塘水面约 0.3 hm², 全年平均水深约 1.5 m, 因受纳大量生活污水及集约养鱼而成为富营养化水体, 经对水样

监测分析, 污染物质质量浓度分别为: $\rho(\text{As}) < 0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{Hg}) < 0.001 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{Cd}) < 0.001 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{Pb}) = 0.032 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{Cu}) < 0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{Cr}^{6+}) < 0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{PO}_4^{3-}) = 1.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{总氮}) = 21.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{Cl}) = 16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{COD}_{\text{Mn}} = 27.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 可见高锰酸盐指数(COD_{Mn})和总氮(N)、磷酸盐(PO_4^{3-})等污染物质质量浓度较高。根据文献[9, 10]使用富营养化指数(NQI)评价模型进行水质评价: $NQI = \text{COD} / \text{COD}_S + \rho(\text{N}) / \rho(\text{N}_S) + \rho(\text{PO}_4^{3-}) / \rho(\text{PO}_4^{3-}_S)$, 式中 COD_S 、 $\rho(\text{N}_S)$ 、 $\rho(\text{PO}_4^{3-}_S)$ 分别为营养状况评价标准值, 这里分别采用 3.000、0.300、0.045 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, NQI 大于 3 为富营养水平, 2~3 为中营养水平, 小于 2 为贫营养水平, 经计算得出本文试验所用水体的 NQI 为 119.2, 可知水质已严重富营养化。

按双季稻生长季节进行了两季试验, 分别于 4 月 15 日、8 月 26 日移植幼苗, 7 月 20 日和 11 月 10 日取样, 常规方法测定植物的株高、最长根的长度、总鲜质量、总体积、根茎干质量和经济性状指标, 取倒二叶和根系分别用丙酮-乙醇混合液提取法和 α -萘胺氧化法测定叶绿素含量和根系活力^[11]。

2 结果与分析

2.1 对叶绿素和根系活力的影响

与陆栽相比, 浮床作物叶绿素含量均稍低, 其中旱地栽培水稻、香根草、水芋头差异达显著水平($P < 0.05$), 但浮床水稻、美人蕉则差异不显著。根系活力的差异也表现相似(表 1)。这种差异可能是由于养分及温度、湿度等与陆栽有所不同造成。

表 1 不同栽培方式下植物叶绿素含量及根活力的比较¹⁾

Tab. 1 The influence on the contents of chlorophyll and the activity of root system in floating beds and conventional cultivation

植物 plant	栽培方式 treatment	w/(mg·g ⁻¹)			根系活力 the activity of root system/ (μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
		叶绿素 a+b	叶绿素 a	叶绿素 b	
		chl. (a+b)	chl. a	chl. b	
水稻 rice	浮床栽培 in floating beds	1. 212a	0. 937	0. 275	138. 56a
	旱地栽培 in dry land	0. 817b	0. 631	0. 186	149. 21b
	稻田栽培 in paddy	1. 679a	1. 30	0. 380	127. 67a
香根草 vetiveria	浮床栽培 in floating beds	0. 415a	0. 323	0. 092	182. 31a
	旱地栽培 in dry land	0. 517b	0. 409	0. 108	202. 63b
美人蕉 canna	浮床栽培 in floating beds	2. 327a	1. 305	1. 022	189. 68a
	旱地栽培 in dry land	2. 798a	2. 037	0. 761	122. 35b
水芋头 taro	浮床栽培 in floating beds	1. 389a	1. 097	0. 293	154. 25a
	旱地栽培 in dry land	1. 067b	0. 830	0. 238	137. 32a

1) 表中同种作物同列数据后具有相同字母者表示差异不显著(DMRT 法, P< 0. 05)

2. 2 作物生长特性

据观察, 浮床水稻、香根草、美人蕉和芋头长势良好, 叶色等外表形态与陆栽相似, 但植株普遍矮化, 生育期略有推迟, 如水稻、美人蕉的花期推迟了 3~6 d, 可能与水培条件下植株生长所需的养分供应和昼夜环境温差的不同有关(表 2)。

2. 2. 1 生物量 浮床水稻、美人蕉和芋头的单科(每穴)生物量与常规栽培(CK)的相仿, 其中浮床水稻生物量达 68. 8 g, 是常规栽培(72. 54 g)的 94. 84%, 美人蕉和芋头生物量则分别达 51. 2 和 38. 9 g, 分别是常规栽培的 83. 03%与 65. 85%; 而香根草生物量下降明显, 仅为 294. 0 g, 只有常规陆栽的 43. 2%。旱作水

稻由于缺水缺肥, 长势极差, 生物量只有 3. 07 g, 仅为常规栽培的 4. 3%。

2. 2. 2 植株含水量 从干质量/鲜质量的比值看, 陆栽植株的含水量低于水培, 以水稻为例, 旱稻植株含水量(w)为 62. 5%, 而水培稻、水田稻分别为 75. 3%和 65. 4%, 浮床美人蕉的含水量高达 84. 3%, 而陆栽的只有 64. 2%, 说明植株含水量与环境水分条件密切相关。

2. 2. 3 根冠比 除了浮床水稻的根冠比比对照高外, 其余各水培植物根冠比都比对照低。旱稻和浮床水稻的根冠比都比对照高, 特别是旱稻的根冠比水田稻高出 1 倍多, 说明不良环境诱导水稻根系发育,

表 2 浮床栽培与陆地栽培对作物的生长特性的影响¹⁾

Tab. 2 Effects of different culture methods on growing and agroeconomic characters of the plants

植物 plant	栽培方式 treatment ²⁾	m(鲜 fresh)/g	m(干 dry)/g			m(干 dry)/ m(鲜 fresh)	根冠比 ratio of root to crown	根长 root length/ cm	株高 plant height/cm	经济指标 ³⁾ economic characters
			根 root	茎叶 crown	总 total					
水稻 rice	A	222. 0a	9. 95	62. 59	72. 54a	0. 33	0. 16	16. 0	102. 0a	179a
	B	10. 0b	0. 92	2. 15	3. 07b	0. 35	0. 47	20. 5	48. 5b	32b
	Bp	275. 0c	14. 74	54. 0	68. 8a	0. 25	0. 27	6. 0	91. 2a	148a
香根草 vetiveria	A	294. 0a	42. 01	46. 12	88. 1a	0. 30	0. 94	25. 3	127. 5a	88. 1a
	B	552. 7b	106. 65	97. 85	204. 5b	0. 37	1. 09	32. 7	142. 6b	204. 5b
美人蕉 canna	A	292. 5a	16. 28	34. 96	51. 20a	0. 16	0. 49	43. 3	57. 5a	5. 61a
	B	173. 0b	40. 22	21. 45	61. 67a	0. 36	1. 88	13. 6	86. 3b	2. 22b
水芋头 taro	A	150. 0a	4. 98	33. 9	38. 90a	0. 26	0. 15	34. 5	51. 5a	4. 32a
	B	203. 0b	10. 02	49. 05	59. 07b	0. 29	0. 20	22. 0	70. 8b	9. 21b

1) 表中数据均为 2 次试验共 10 株(科)的平均值; 2) A 浮床栽培 in floating beds B 旱地栽培 in dry land, Bp 水稻田栽培 in paddy; 3) 经济指标及单位分别为: 水稻——平均每穗谷粒数(粒), 香根草——每科(穴)生物量(g), 美人蕉——每穗鲜花干质量(g), 水芋头——每科芋球茎(芋头)干质量(g)

用以补偿吸收更多的营养。此外, 水培条件下美人蕉的根冠比均比对照低得多, 说明水生环境更利于美人蕉地上部干物质的积累。芋头在水培条件下根冠比比对照低, 说明对其经济产量的形成不利。

2.2.4 根系 浮床水稻、香根草和美人蕉的根系较发达, 须根分枝和根毛多而色白。其中浮床水培水稻、香根草的根长均比对照短, 而且其须根分布呈向水面分布而不呈向地性, 浮床水稻、香根草根系粗而短, 可能与鱼类摄食有关。美人蕉和芋头的须根均比对照的长而细, 芋头的须根虽长但只有几根, 比对照的少得多。

2.2.5 株高 水培水稻、香根草、美人蕉、芋头的株高均比对照矮, 其中浮床水稻、香根草、芋头的株高与对照接近, 分别为对照的 89.4%、89.5% 和

72.7%; 水培美人蕉的株高为 57.5 cm, 比陆栽的 86.3 cm 矮了 33.4%。

2.2.6 经济性状 不同栽培方式下水稻、香根草、美人蕉和芋头等 4 种植物的经济性状比较如表 2、3。浮床水稻的有效穗数、穗长、平均每穗的小穗数、每穗谷粒分别为对照的 73.7%、89.3%、76.9% 和 82.7%, 每科总谷粒数约为对照的 2/3, 除穗长外, 其他指标差异均达显著水平, 这是在无施肥等人工管理措施下自然生长获得的产量, 如果能仿照常规栽培, 施用缓释肥等, 估计浮床水稻也能取得相仿的产量, 因此浮床水稻是利用富营养化水体的有效途径, 这与已有的研究报道^[1,2,8] 结果一致。而旱作水稻由于水分和养分缺乏, 产量性状指标均很低。

表 3 不同栽培条件下水稻经济性状比较¹⁾

Tab. 3 The agronomic characters of rice under different culture methods

栽培方式 treatment	有效穗数 no. of effective panicle	穗长 length of panicle / cm	小穗数 no. of shoot per panicle	每穗谷粒数 no. of grain per panicle	每科总谷粒数 no. of grain per plant
浮床栽培 in floating beds	19a	28a	13a	179a	3 401a
旱地栽培 in dry land	3b	4b	3b	15b	45b
水稻田栽培 in paddy	14c	25a	10c	148c	2 072c

1) 表中同列数据后具有相同字母者表示差异不显著(DMRT 法, $P<0.05$)

香根草和芋头在浮床栽培条件下的经济性状指标均不足对照的一半, 说明尽管其能适应浮床栽培的环境条件, 但不是获取良好生态效益与经济效益结合的理想植物。

美人蕉在水培条件下植株矮化而又粗壮, 在富营养化水体浮床栽培时其花穗比对照重一倍多, 说明其美化环境的观赏价值有了较大的提高, 是一种理想的水面浮床栽培植物, 在有机污染严重的广大城市和城郊有广阔的应用前景。

3 结论与讨论

试验的 4 种植物在富营养化水体浮床栽培条件下均能生长, 其中水稻生物量、株高、经济性状等指标差异较小; 香根草的生物量下降较大, 但株高、根冠比相差不大; 美人蕉的生物量变化不大, 根冠比减少, 地上部植株增粗矮化, 花穗增大、花朵增加; 水芋头则表现为根冠比失调, 球茎产量下降。可见水稻、香根草、美人蕉和水芋头均可在水面浮床生长, 其中水稻和美人蕉的经济性状表现较好, 如能结合施肥等栽培管理, 会获得与大田常规栽培相仿的经济产量, 这与有关研究结论一致^[1~3]。浮床美人蕉植株矮壮而具有更高的美学观赏价值, 是理想的浮床栽培植物, 但香根草和芋头的经济性状指标下降十分明

显, 不是理想的浮床栽培植物。广东省高明市等地已有部分农民利用秋季浅水鱼塘种植水稻, 收割水稻茎叶补充冬季养鱼青饲料之不足。建议利用深水鱼塘特别是富营养化严重的基塘进行浮床栽培水稻, 既可吸收营养盐净化水质, 又可提供部分鱼饲料, 做到种稻养鱼两不误, 形成生态经济良性循环, 这是一种值得进一步研究和实践的生态农业模式。

水面浮床种植水稻、美人蕉等具有经济价值的植物处理废水特别是净化富营养化水体, 成本低廉, 方法简单, 既达到保护环境、美化景观的目的, 又能充分利用资源, 缓解土地资源和水资源紧缺的矛盾, 增加经济收益, 具有良好的生态效益、社会效益和经济效益。但有关浮床栽培下植物生理形态特性形成的机理、浮床作物高产优质高效配套栽培技术、浮床栽培作物食品的安全性、浮床作物副产品的利用等, 仍有待进一步研究。

参考文献:

[1] 宋祥甫, 应火冬, 朱敏, 等. 自然水域无土栽培水稻研究[J]. 中国农业科学, 1991, 14(4): 8—13.
[2] AKIRA M, FUMITAKE K, WAICHI A, et al. Plant production and water purification efficiency by rice and umbrella plants grow in a floating culture system under various water environmental conditions[J]. J Fac Agr Kyushu Univ, 2000, 45

(1); 28—38.

[3] 吴伟明, 宋祥甫, 金千瑜, 等. 鱼塘水面无土栽培美人蕉研究[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3): 206—210.

[4] 马立珊, 骆永明, 吴龙华, 等. 浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究[J]. 土壤, 2000, 31(2): 99—101.

[5] 李芳柏, 吴启堂. 无土栽培美人蕉等植物处理生活污水的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 88—92.

[6] 宋祥甫, 邹国燕, 吴伟明, 等. 浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究[J]. 环境科学学报, 1998, 18(5): 489—493.

[7] 吴伟明, 宋祥甫, 邹国燕. 利用水上栽培方法研究水稻根系[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(3): 189—192.

[8] 宋祥甫, 吴伟明, 应火冬, 等. 自然水域无土栽培水稻的生态适应性研究[J]. 中国水稻科学, 1996, 10(4): 227—234.

[9] 张建乐. 秦皇岛沿岸富营养化初探[J]. 海洋环境科学, 1993, 12(1): 59—63.

[10] 刘殿生. 秦皇岛海域污染指数评价研究[J]. 环境科学研究, 1995, 8(5): 36—41.

[11] 华东师范大学. 植物生理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 1988. 68—73.

Studies on the Growing Characteristics of Plants Grown in Floating Soilless Culture System

LI Hua-shou, NIE Cheng-rong, FANG Wen-jie, LI Yong-fang
(Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agric. Univ. , Guangzhou 510642, China)

Abstract: The growing characteristics between plant cultivation on artificial floating beds and conventional cultivation of four plants, including rice(*O. sativa* L.), vetiveria(*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash), canna(*Canna indica* L.) and taro(*Colocasia esculenta* (L.) Schott), were compared. Under the condition of no fertilizing, those four plants could survive in soilless culture on floating beds. The biomass, plant height and chlorophyll content as well as the activity of root system(α-NA) of rice and canna had no difference between floating beds and conventional cultivation, while the biomass of vetiveria decreased significantly. The ratio of root and aerial part of taro was abnormal and its production of corn decreased on artificial floating beds. The canna showed similar plant shape and biomass comparing with conventional cultivation. The result indicated that rice, vetiveria and canna suit to be cultivated on the floating beds above the eutrophic water. Canna is a kind of ideal landscape plant on floating beds.

Key words: cultivation on artificial floating bed; plant growing characteristics, soilless culture

【责任编辑 周志红】