

王文琳,周长芳,周 屿,等. 沼液对水培蔬菜生长和光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):114–117.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.12.027

沼液对水培蔬菜生长和光合特性的影响

王文琳¹, 周长芳¹, 周 屿¹, 朱洪光², 沈文燕²

(1. 南京大学生命科学学院医药生物技术国家重点实验室, 江苏南京 210093;

2. 同济大学现代农业科学与工程研究院生物质能源研究中心, 上海 200092)

摘要:在室内模拟条件下,比较用浓度为 0.12%~12.00% 的沼液处理(折纯氮含量 1.88~188.28 mg/L)对水培蔬菜生长、光合特性等的影响。结果表明,施加 0.12%~0.60% 沼液对蔬菜的再生率和生物量累积有促进作用,其中 0.24% 沼液处理的蔬菜干生物量相对最高;与对照相比,0.12%~0.60% 沼液处理的蔬菜叶片净光合速率(P_n)出现较大幅度上升,最大净光合速率(P_{max})、光补偿点(I_c)、暗呼吸速率(R_d)有所提高,蔬菜叶片的最大光化学效率(F_v/F_m)、实际光化学量子产量(Φ_{PSII})、光化学淬灭系数(q_p)有明显提高,非光化学淬灭系数(N_{pq})有明显降低;1.20% 沼液处理可抑制蔬菜的生长,12.00% 沼液处理的蔬菜失去再生能力。因此,适当浓度的沼液肥有助于水培蔬菜的生长,以 0.24%~0.60% 沼液浓度(折纯氮含量 3.76~9.41 mg/L)为宜。

关键词:沼液;水培蔬菜;光合特性;净光合速率;生物量;再生能力

中图分类号: S141;Q945.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2018)12–0114–04

沼液是以畜禽粪便、污水和各种农作物秸秆等为原料,经厌氧发酵后残留的副产品^[1],含有丰富的有机质和氮磷等营养物质,如随意排放则会带来水体富营养化等环境污染问题^[2]。有研究发现,沼液中普遍含有作物生长所需的氮、磷、钾、微量元素及丰富的腐殖酸、氨基酸、维生素、生长素及微生物分泌的多种活性物质^[3–4],沼液不仅可提高蔬菜产量、改善品质^[5],而且对大多数植物病原真菌具有抑制作用^[6]。康凌云等研究发现,施用沼液、沼渣可以满足果类蔬菜的正常生长发育所需^[5]。因此,沼液、沼渣作为肥料越来越多地被应用于农业生产,目前,沼液在土壤改良、农作物增产等方面有应用研究报道^[7–8]。Odlare 等研究发现,沼渣能调节土壤 pH 值,增加植物可直接利用的磷含量,提高土壤微生物活性等,对土壤改良到起一定的促进作用^[9]。孙国峰等认为,在小麦农田种植中沼液可全量替代化肥^[10]。但张进等也提出,将沼液完全代替化肥用于水稻生产会对水稻的生长和产量不利^[11]。

目前,沼液作为有机肥料的可利用性研究大部分是通过沼液中有有效营养元素的分析^[3–4]及对各种农作物产量的影响^[5,10]等来验证的,其对植物内在的影响机制却鲜有报道。本试验将沼液添加至传统水培蔬菜(*Ipomoea aquatica* Forsk.)^[12]培养体系中,分析蔬菜的再生能力、光合能力、生物量积累等指标,进一步明确沼液的作用效果和适宜使用浓

度,为沼液能更好地作为有机肥料替代传统化肥应用于农业生产、实现农业废弃物的资源化利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2015 年 7—9 月于南京大学生命科学学院实验室内进行,选取粗壮一致的市购蔬菜,剪掉上下两端,只保留高度为(18±1) cm 的茎部分;每株蔬菜保留 2 个节,上节用来生长枝叶,下节用来生根,每株蔬菜的鲜质量约为(3±0.5) g;将剪取好的蔬菜固定至 350 mL 塑料杯中,每杯 3 株,备用。试验用沼液由上海林海生态有限公司所提供,基本理化性质:pH 值为 7.14,电导率(EC 值)为 18.380 mS/cm,总氮、总有机质、总磷含量分别为 1 569、585、1 757 mg/L。

1.2 试验处理

向固定有蔬菜的塑料杯中分别施加浓度为 0.12%、0.24%、0.60%、1.20%、6.00%、12.00% 的沼液,折合纯氮含量分别为 1.88、3.76、9.41、18.83、94.14、188.28 mg/L,每个浓度梯度重复 5 次,以自来水培养为对照(CK),将蔬菜置于光照培养箱中进行培养,温度为 28℃,光照度为 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光—暗周期为 12 h—12 h,持续培养 21 d。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 再生率、生物量、叶绿素 培养期间,每天观察样本的生长状况,统计各样本的再生率;培养到 21 d 时,分别称取所有处理样本的根、茎鲜质量,烘干至恒质量,称取干质量;将叶片剪成两半,一半于烘干前后进行称量,计算干鲜比,另一半称取 0.05 g,剪碎,加 95% 乙醇研磨、提取,以 95% 乙醇作为空白对照,用国产 UV1800 型紫外可见分光光度计分别测定波长 665、649 nm 处的吸光度 $D_{665 \text{ nm}}$ 、 $D_{649 \text{ nm}}$ ^[13],计算叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b) 的含量,计算公式如下:

$$C_{\text{Chl a}} = 13.95 \times D_{665 \text{ nm}} - 6.80 \times D_{649 \text{ nm}};$$

收稿日期:2016–12–29

基金项目:江苏省林业三新工程(编号:LYSX[2015]16);江苏省科技厅现代农业项目(编号:BE2015357);上海林海生态技术股份有限公司横向课题(编号:0208151222);南京大学医药生物技术国家重点实验室自主研究课题(编号:01ZZYJ–201410)。

作者简介:王文琳(1991—),女,湖南娄底人,硕士研究生,从事植物生理生态研究。E-mail:wangwenlin1991@126.com。

通信作者:周长芳,博士,副教授,从事植物生理生态研究。E-mail:

zcfnju@nju.edu.cn。

$$C_{\text{Chl b}} = 24.96 \times D_{649 \text{ nm}} - 7.32 \times D_{665 \text{ nm}} \circ$$

1.3.2 光合气体交换参数 参照李霞等的方法^[14],选取长势相似的薺菜叶片,采用美国产 LI-6400 型便携式光合仪测定植物的光响应曲线,由全自动红蓝 LED 灯提供 0 ~ 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光合光子通量密度 [PPFD],维持 CO_2 浓度为 0.785 mg/L,温度为 28 $^{\circ}\text{C}$,记录叶片净光合速率 (P_n),利用非直角双曲线模型和叶子飘教授提供的光合计算软件,获得最大净光合速率 (P_{max})、初始量子效率 (α)、光补偿点 (I_c) 和暗呼吸速率 (R_d)^[15]。

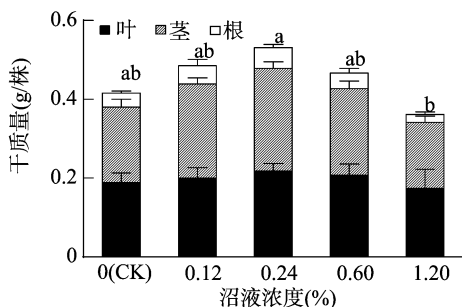
1.3.3 叶绿素荧光参数 采用德国 WALZ 产 MINI-PAM 型超便携式调制叶绿素荧光仪测定叶片的叶绿素荧光参数。选取长势相似的叶片,用叶夹暗适应 30 min,打开叶夹,开启检测光,测定光系统 II (PS II) 最大光化学效率 (F_v/F_m);利用内置自动光源测定荧光诱导曲线,计算 PS II 实际量子产量 ($\Phi_{\text{PS II}}$)、光化学淬灭系数 (q_p)、非光化学淬灭系数 (N_{PQ}),计算公式如下:

$$\begin{aligned} F_v/F_m &= (F_m - F_o)/F_m; \\ \Phi_{\text{PS II}} &= (F_m' - F_t)/F_m'; \\ q_p &= (F_m' - F_t)/(F_m' - F_o'); \\ N_{\text{PQ}} &= (F_m - F_m')/F_m'. \end{aligned}$$

式中: F_m' 、 F_t 、 F_o' 分别为光适应过程中的饱和荧光值、实时荧光值、最小荧光值; F_m 、 F_o 分别为暗适应后的最大荧光值、最小荧光值^[16]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0、Excel 2010 软件对试验数据进行统计分析,采用单因素方差分析和 Duncan's 新复极差法检验样本间的差异显著性。

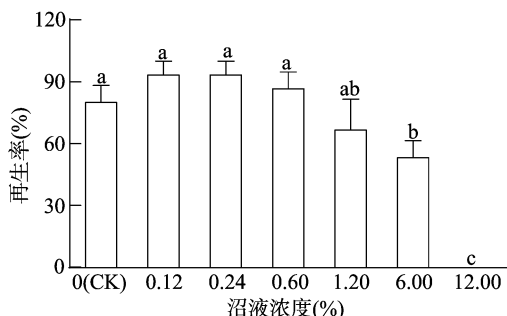


A. 生物量

2 结果与分析

2.1 不同浓度沼液处理对薺菜再生率的影响

由图 1 可知,用自来水培养的薺菜 (CK) 再生率为 80%;较低浓度沼液处理可促进薺菜的再生,0.12%、0.24% 浓度沼液处理的薺菜再生率较对照增加 17%,当沼液浓度增加到 0.60% 时,薺菜再生率较对照上升的幅度有所下降;添加更高浓度沼液会抑制薺菜的再生,1.20%、6.00% 沼液浓度处理的薺菜再生率较对照分别下降 17%、33%,6.00% 沼液浓度处理的薺菜再生率与 CK 相比差异显著 ($P < 0.05$);最高沼液浓度 12.00% 处理的薺菜无法再生。

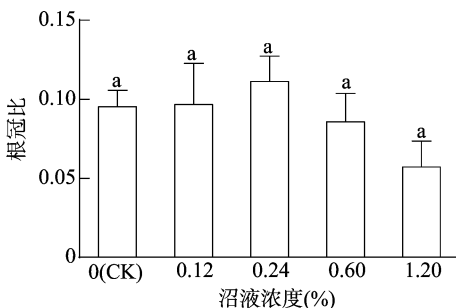


柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。图2、图3同

图1 不同沼液浓度对薺菜再生率的影响

2.2 不同浓度沼液处理对薺菜生物量的影响

由图 2 可知,培养 21 d,添加浓度为 0.12% ~ 0.24% 沼液的薺菜生物量有明显提高,但与对照相比差异不显著,0.24% 沼液处理的薺菜根、茎、叶生物量较对照分别上升 16%、45%、47%;1.20% 沼液处理的薺菜与对照相比,其生物



B. 根冠比

图2 不同沼液浓度对薺菜的根、茎、叶生物量和根冠比的影响

量累积受到显著的抑制;随着沼液使用浓度的升高,薺菜根冠比呈先上升后下降趋势,相互间差异不显著。

2.3 不同浓度沼液处理对薺菜叶绿素含量的影响

由图 3 可知,0.12% ~ 0.60% 沼液处理的水培薺菜叶绿素含量明显高于对照,其中,0.60% 沼液处理的薺菜叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b) 含量相对最高,分别较对照高 24%、60%,叶绿素 a 含量与对照相比差异不显著,而叶绿素 b 含量与对照相比差异显著 ($P < 0.05$);沼液浓度达到 1.20% 时,叶绿素含量下降,Chl a、Chl b 含量明显低于对照组,但与对照相比差异不显著。

2.4 不同浓度沼液处理对薺菜光响应曲线的影响

由图 4、表 1 可知,0.24% ~ 0.60% 沼液处理的水培薺菜光响应曲线较对照有明显上浮;经非直角双曲线模型拟合分

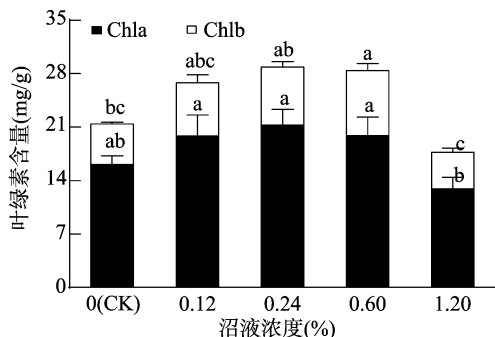


图3 不同浓度沼液处理对薺菜叶绿素含量的影响

析发现,0.24% ~ 0.60% 浓度沼液处理的薺菜最大净光合速率较对照上升 9.40% ~ 17.67%,0.12% ~ 0.24% 沼液处理

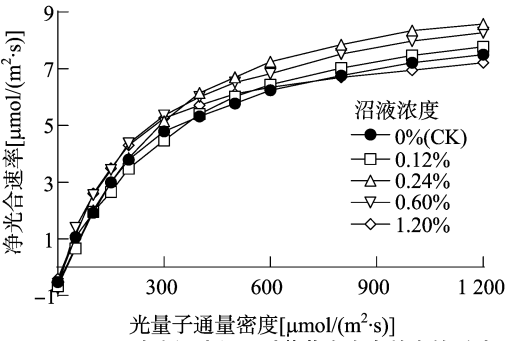


图4 不同浓度沼液处理对薊菜净光合效率的影响

表 1 不同沼液浓度处理对水培薊菜光合参数及暗适应下最大光化学效率的影响

沼液浓度 (%)	P_{\max} [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	α [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	I_c [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	R_d [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	F_v/F_m 值
0.00	$8.94 \pm 0.60\text{a}$	$0.04 \pm 0.01\text{a}$	$17.17 \pm 3.78\text{a}$	$0.55 \pm 0.08\text{a}$	$0.799 \pm 0.001\text{c}$
0.12	$8.94 \pm 2.05\text{a}$	$0.04 \pm 0.01\text{a}$	$23.42 \pm 9.11\text{a}$	$0.67 \pm 0.15\text{a}$	$0.818 \pm 0.004\text{ab}$
0.24	$10.52 \pm 0.42\text{a}$	$0.03 \pm 0.01\text{a}$	$21.32 \pm 11.20\text{a}$	$0.65 \pm 0.31\text{a}$	$0.822 \pm 0.004\text{a}$
0.60	$9.78 \pm 1.46\text{a}$	$0.05 \pm 0.01\text{a}$	$15.04 \pm 2.38\text{a}$	$0.67 \pm 0.05\text{a}$	$0.816 \pm 0.007\text{ab}$
1.20	$7.53 \pm 0.26\text{a}$	$0.05 \pm 0.01\text{a}$	$12.26 \pm 2.52\text{a}$	$0.58 \pm 0.14\text{a}$	$0.802 \pm 0.007\text{bc}$

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

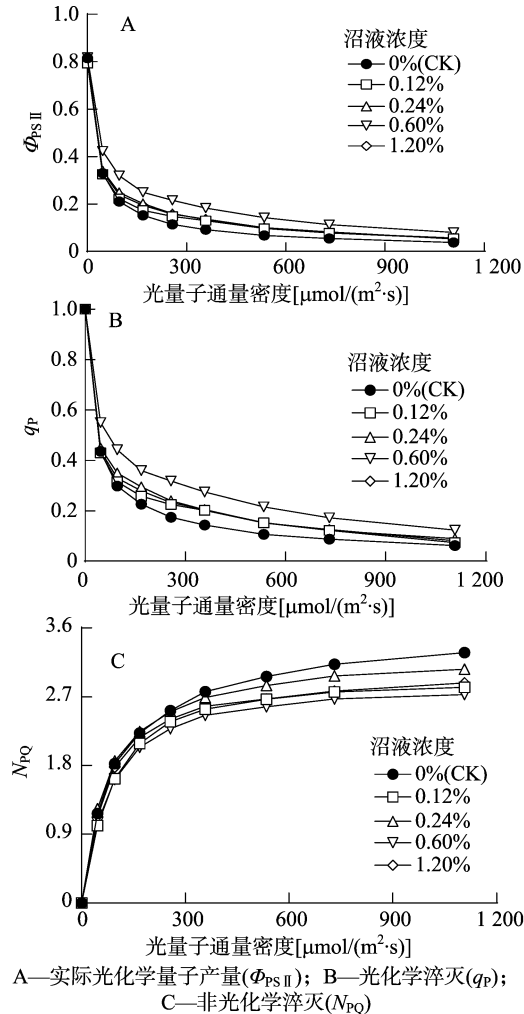


图5 不同浓度沼液处理对薊菜实际光化学量子产量、光化学淬灭及非光化学淬灭的影响

的薊菜光补偿点、暗呼吸速率较对照均有较大幅度的上升,0.60% 沼液处理的薊菜初始量子效率较对照也有所上升,1.20% 沼液处理的薊菜最大净光合速率、光补偿点较对照出现一定程度的下降,而不同处理间薊菜各光合参数差异不明显。

2.5 不同浓度沼液处理对薊菜 PS II 荧光动力学参数的影响

由图 5、表 1 可知,随着沼液使用浓度的增加,薊菜叶片最大光化学效率(F_v/F_m 值)呈先上升后下降趋势,0.24% 沼液浓度处理的 F_v/F_m 值相对最大,较对照增加 2.88%,且差异显著($P < 0.05$);随着沼液使用浓度的增加,水培薊菜的实

际光化学量子产量(Φ_{psII})、光化学淬灭系数(q_p)较对照均有所上升,沼液浓度为 0.60% 时,薊菜叶片 Φ_{psII} 、 q_p 出现最大值,沼液浓度继续增加, Φ_{psII} 、 q_p 均有所下降;不同浓度沼液处理的薊菜非光化学淬灭系数(N_{pq})较对照有一定程度的下降,沼液浓度为 0.60% 时 N_{pq} 下降最为明显,之后随着沼液浓度的增加, N_{pq} 出现上浮现象。

3 结论与讨论

国内外有研究表明,沼液可用作肥料应用于农业生产,沼液中除了含有氮、磷、钾等大量元素外,还含有锌、锰、铜等多种微量元素及氨基酸等^[17-18],且存在一定的抑菌因子,可有效抑制植物病原微生物的产生,提高植物的存活率^[19-20]。本试验结果表明,使用浓度为 0.12% ~ 0.60% 的沼液能提高薊菜的再生率,增加根、茎、叶的生物量,可能与沼液中含有丰富的营养物质,促进了植物组织生长有关^[3-4],与 Liu 等研究结论^[21]一致;0.24% 沼液使薊菜根冠比增加,但高浓度沼液处理可明显抑制根生物量的积累。

光合作用是植物生物量积累的有效途径,叶绿素是植物光合作用中物质吸收、传递和光能转换的基础,叶绿素含量是反映光合强度的重要生理指标^[22]。本试验中,0.24% ~ 0.60% 沼液处理的薊菜叶片叶绿素含量较对照有所提高,这很好地解释了薊菜生物量增加的原因。吕淑敏等研究表明,添加适量沼液能提高玉米叶片的叶绿素含量及源库代谢关键酶的活性,从而促进生物量的积累^[23]。叶绿素荧光相关参数中,最大光化学效率(F_v/F_m 值)代表 PS II 的最大光化学效率^[24],实际光化学量子产量(Φ_{psII})能反映电子的传递速率,高 Φ_{psII} 有利于为暗反应碳同化积累更多的能量,而光化学淬灭(q_p)反映 PS II 原初电子受体单电子受体质醌(QA)的氧化还原状态,即 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,非光化学淬灭(N_{pq})反映 PS II 天线色素吸收却不能用于光合电子传递,最终以热能耗散掉的光能部分^[16,25-27]。

本试验结果表明,随着沼液浓度的增加,经沼液处理的蔬菜 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 呈先上升后下降趋势,0.24% ~ 0.60% 沼液的施用提高了 PS II 的光化学效率及 PS II 反应中心开放比例,降低了非辐射热耗散,有利于光合色素把所捕获的光能高效地转化为化学能,提高了 PS II 量子产量和光合速率,促进了生物量的累积,为碳同化提供了充足能量;0.12% ~ 1.20% 沼液的施用使蔬菜 q_P 提高、 N_{PQ} 降低。这从侧面反映在中浓度沼液处理条件下蔬菜光合能力有所提高,与赵玲等的研究结论^[28]吻合。但是,高浓度沼液处理对水培蔬菜的生长是不利的,蔬菜的再生率较对照有所下降,这可能是因为过量施用沼液会增加硝酸盐在蔬菜内的积累量^[29],不利于蔬菜的再生;1.20% 沼液浓度处理的蔬菜生长速率受到抑制,其生物量、净光合速率低于对照;高浓度沼液处理的蔬菜 Φ_{PSII} 、 q_P 下降, N_{PQ} 上升,水培蔬菜 PS II 的生理活性降低,用于光合作用的光能减少,不利于碳同化作用^[26],与刘义国等的研究结论^[30]一致。

综上所述,适宜浓度的沼液可以促进水培蔬菜生长,而较高浓度则出现抑制,这可能与其特殊成分的变化有关,有待进一步开展研究。沼液作为有机肥用于蔬菜种植时,应注意控制沼液的施加量,建议以 0.24% ~ 0.60% 浓度范围(折纯氮含量 3.76 ~ 9.41 mg/L)为宜。

致谢:感谢井冈山大学叶子飘教授提供光合分析模型及计算软件。

参考文献:

- [1] Raven R P J M, Gregersen K H. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 11(1): 116–132.
- [2] Lastella G, Testa C, Cornacchia G, et al. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification[J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43(1): 63–75.
- [3] Zhu Z, Zhang F G, Wang C, et al. Treating fermentative residues as liquid fertilizer and its efficacy on the tomato growth[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 164: 492–498.
- [4] Gao T G, Chen N, Li W Q, et al. Effect of highly efficient nutrient solution of biogas slurry on yield and quality of vegetables[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(4): 567–570.
- [5] 康凌云, 赵永志, 曲明山, 等. 施用沼渣沼液对设施果蔬蔬菜生长及土壤养分积累的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(22/23/24): 57–62.
- [6] 尚斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等. 猪粪沼液对蔬菜病原菌的抑制作用[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2509–2515.
- [7] Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, et al. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties[J]. Bioresource Technology, 2000, 72(1): 9–17.
- [8] Sieling K, Herrmann A, Wienforth B, et al. Biogas cropping systems: short term response of yield performance and N use efficiency to biogas residue application[J]. European Journal of Agronomy, 2013, 47(5): 44–54.
- [9] Odlare M, Pell M, Svensson K. Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues[J]. Waste Management, 2008, 28(7): 1246–1253.
- [10] 孙国峰, 周炜, 何加骏, 等. 猪粪沼液施用后土壤理化性状及小麦产量的变化[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 1054–1060.
- [11] 张进, 张妙仙, 单胜道. 沼液对水稻生长产量及其重金属含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2005–2009.
- [12] 周晓红, 王国祥, 杨飞, 等. 空心菜对不同形态氮吸收动力学特性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 15(5): 84–87.
- [13] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 74–77.
- [14] 李霞, 任承钢, 王满, 等. 江苏地区凤眼莲叶片光合作用对光照度和温度的响应[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(5): 943–947.
- [15] 叶子飘. 光合作用对光和 CO₂ 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727–740.
- [16] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(345): 659–668.
- [17] 苏有勇, 卢怡, 施卫省. 沼肥对无土栽培生菜产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008, 45(1): 60–62.
- [18] Yu F B, Luo X P, Song C F, et al. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality[J]. Acta Agriculturae Scandinavica Section B—Soil and Plant Science, 2010, 60(3): 262–268.
- [19] 曹云, 常志州, 马艳, 等. 沼液施用对辣椒疫病的防治效果及对土壤生物学特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 507–516.
- [20] 尹芳, 张无敌, 宋洪川, 等. 沼液对某些植物病原菌抑制作用的研究[J]. 可再生能源, 2005(2): 9–11.
- [21] Liu W K, Yang Q C, Du L F. Soilless cultivation for high-quality vegetables with biogas manure in China: feasibility and benefit analysis[J]. Renewable Agriculture and Food Systems, 2009, 24(4): 300–307.
- [22] 刘红江, 陈虞雯, 张岳芳, 等. 不同播栽方式对水稻叶片光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1206–1211.
- [23] 吕淑敏, 曲小菲, 王林华, 等. 不同沼液用量对夏玉米源库代谢关键酶及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 338–343.
- [24] 柯希欢, 李霞, 仲维功, 等. 栽插苗数对 4 个高产梗稻品种冠层、生理指标和产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 16–26.
- [25] 胡楚琦, 刘金珂, 周长芳, 等. 三种盐胁迫对互花米草和芦苇光合作用的影响[J]. 植物生态学报, 2015, 39(1): 92–103.
- [26] 冯伟, 管涛, 王晓宇, 等. 沼液追施量对小麦叶绿素荧光动力学参数及产量的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(2): 157–162.
- [27] 吴晓丽, 汤永禄, 李朝苏, 等. 不同生育时期渍水对冬小麦旗叶叶绿素荧光及籽粒灌浆特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(3): 309–318.
- [28] 赵玲, 敖永华, 刘荣厚. 不同配比沼渣基质对草莓生长发育及叶绿素荧光特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(2): 185–189.
- [29] 齐英, 陈慧民, 刘慧. 沼肥对减少蔬菜硝酸盐积累的量化研究[J]. 可再生能源, 2003(5): 35–36.
- [30] 刘义国, 林琪, 王月福, 等. 秸秆还田与氮肥耦合对冬小麦光合特性及产量形成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 42–44.