

doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2024.03.004

杨小玲,李招,程艳茹,等.养殖尾水混合不同比例水溶肥种植水培生菜的综合效益评价[J].中国农业气象,2024,45(3):257-267

养殖尾水混合不同比例水溶肥种植水培生菜的综合效益评价*

杨小玲^{1,2,3}, 李招^{2,3}, 程艳茹^{1,2,3**}, 修维宁¹, 刘阳¹, 战博⁴

(1.重庆市农业科学院, 重庆 401329; 2.农业废弃物资源化利用重庆市重点实验室, 重庆 401329; 3.农业农村部西南山地智慧农业技术重点实验室(部省共建), 重庆 401329; 4.重庆市南岸区农业农村委员会, 重庆 401336)

摘要:以“奶油生菜”为研究对象,将不同量的山崎配方水溶肥溶于工厂化养鱼尾水,配制成混合营养液,进行营养液膜栽培(NFT)水培生菜实验,以期筛选出最佳水肥配比,为实现工厂化养鱼尾水资源化利用提供理论依据。实验设置5个处理,分别为S1(123g水溶肥+150L养鱼尾水)、S2(98.4g水溶肥+150L养鱼尾水)、S3(73.8g水溶肥+150L养鱼尾水)、S4(49.2g水溶肥+150L养鱼尾水)、S5(24.6g水溶肥+150L养鱼尾水),以CK(123g水溶肥+150L清水)作为对照,探究不同处理对生菜产量和品质的影响。采用基于熵权法的TOPSIS综合效益评价模型分析确定最佳水肥配比参数。结果表明,混合营养液能提高生菜对水肥的吸收量,但随水溶肥浓度增加,生菜耗肥量呈先增大后减小的趋势;不同处理下生菜耗水耗肥量均低于CK处理,S1-S5处理相比CK处理分别节肥25.01%、19.15%、34.12%、51.89%和74.10%。混合营养液能有效促进生菜生长,但生菜各项生长指标均随水溶肥浓度上升呈先增大后减少的趋势,S2处理下生菜产量最高,为 $1.88\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,相比CK处理增加15.32%。此外,混合营养液可提高生菜品质,可溶性糖和可溶性蛋白含量呈先增大后减小的趋势,S2处理下生菜可溶性糖和可溶性蛋白含量最高;维生素C(VC)含量、硝酸盐含量均与水溶肥浓度呈正相关,S1处理下VC含量最高,S1-S5处理下硝酸盐含量均低于CK处理。综合效益评价结果表明,S2处理对生菜的生长最为有利,可以获得较高的产量并兼具较好的品质,为最佳配比,养鱼尾水与水溶肥合理配施后,可显著促进水肥吸收,提高生菜产量和品质,实现作物生产效益最佳。

关键词:养殖废水;水肥耦合;生菜水培;产量品质;熵权法;TOPSIS

Comprehensive Benefit Evaluation of Hydroponic Lettuce Planted on Aquaculture Wastewater Mixed with Different Proportions of Water-soluble Fertilizer

YANG Xiao-ling^{1,2,3}, LI Zhao^{2,3}, CHENG Yan-ru^{1,2,3}, XIU Wei-ning¹, LIU Yang¹, ZHAN Bo⁴

(1.Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China; 2.Chongqing Key Laboratory of Agricultural Waste Resource Utilization, Chongqing 401329; 3.Southwest Mountain Smart Agricultural Technology Key Laboratory(Co-construction by the Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chongqing 401329; 4.Chongqing Nan'an District Agricultural and Rural Committee, Chongqing 401336)

Abstract: The hydroponic lettuce experiment involved the blending of aquaculture wastewater with water-soluble fertilizer, aiming to determine the optimal ratio of water and fertilizer. This study aims to provide a theoretical foundation for effectively utilizing water resources in industrial aquaculture wastewater. In this study, the research focused on "cream lettuce" as the primary subject. Various quantities of Yamazaki formula water-soluble fertilizer were dissolved in industrial aquaculture wastewater to create a blended nutrient solution. Subsequently, an

* 收稿日期: 2023-09-15

基金项目: 国家重点研发计划项目“绿色高效智能水产养殖工厂创制与应用”(2022YFD2001700); 2021年度三峡后续工作科研项目(5000002021BF50001); 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(cstc2020jscx-tpyzxX0001); 重庆市技术创新与应用发展专项“鱼菜共生智能工厂关键技术及装备研发”(CSTB2022TIAD-ZXX0053)

**通讯作者: 程艳茹, 硕士, 高级工程师, 从事肥水资源化利用及装备研发, E-mail: 524515897@qq.com

第一作者联系方式: 杨小玲, E-mail: 675345186@qq.com

experiment utilizing the Nutrient Film Technique (NFT) was conducted to investigate its effects. The experiment consisted of five distinct treatments: S1 (123g fertilizer + 150L wastewater), S2 (98.4g fertilizer + 150L wastewater), S3 (73.8g fertilizer + 150L wastewater), S4 (49.2g fertilizer + 150L water), and S5 (24.6g fertilizer + 150L water). Additionally, a control group labeled CK (123g fertilizer + 150L water) was utilized to examine the impact of different treatments on lettuce yield and quality. The TOPSIS comprehensive benefit evaluation model, based on the entropy weight method, was employed to analyze and ascertain the optimal parameters for the water and fertilizer ratio. The results demonstrated that the mixed nutrient solution effectively enhanced the absorption of water and fertilizer. However, it was observed that as the concentration of fertilizer increased, the lettuce's fertilizer consumption exhibited an initial rise followed by a subsequent decline. The water and fertilizer consumption of lettuce under the various treatments was lower than that of the CK treatment. Furthermore, the S1-S5 treatments exhibited fertilizer savings of 25.01%, 19.15%, 34.12%, 51.89%, and 74.10% respectively, in comparison to the CK treatment. The mixed nutrient solution proved to be highly effective in promoting the growth of lettuce. However, it was observed that the growth indicators of lettuce followed a pattern of initial increase and subsequent decrease as the fertilizer concentration increased. Notably, the highest lettuce yield of $1.88 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ was achieved under the S2 treatment, representing a 15.32% increase compared to the CK treatment. Furthermore, the mixed nutrient solution exhibited a positive impact on improving the quality of lettuce. The contents of soluble sugar and soluble protein in lettuce displayed an initial increase and subsequent decrease, with the highest levels observed in lettuce treated with S2. The content of vitamin C(VC) and nitrate exhibited a positive correlation with the fertilizer concentration. Specifically, the S1 treatment resulted in the highest VC content, while the nitrate content under the S1-S5 treatments was lower compared to the CK treatment. The comprehensive benefit evaluation revealed that the S2 treatment was the most favorable for lettuce growth, yielding higher crop output and superior quality. The optimal combination of fish tail water and fertilizer demonstrated significant benefits, enhancing water and fertilizer absorption, improving lettuce yield and quality, and maximizing overall crop production efficiency.

Key words: Aquaculture wastewater; Water-fertilizer coupling; Hydroponic lettuce; Yield and quality; Entropy method; TOPSIS

中国是水产养殖大国, 养殖产量居世界第一^[1]。截至 2021 年底, 中国工厂化养殖体积达 7300 万 m^3 , 工厂化水产养殖总产量达 48.9 万 t ^[2]。在规模化水产养殖中, 投入饵料中一般仅 20%~25% 的氮和 25%~40% 的磷被同化^[3-4], 其余养分随粪便排入水体中, 经微生物分解成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 等物质^[5-6]。这些营养元素速效养分形式, 对作物生长发育起直接的营养作用^[7]。因此, 采用种养结合模式, 探究养鱼尾水的高效利用, 是目前的研究热点。Marpaung 等^[8-10]将养鱼尾水浓缩发酵后配置成液体有机肥, 进行马铃薯、甘蓝和红薯大田种植, 实验发现, 鱼粪能适当提高土壤的有机质含量, 促进作物茎叶的生长, 提高作物的产量和品质。张伟娟等^[11-13]将养鱼尾水添加微量元素, 进行水芹、空心菜和生菜水培, 实验发现蔬菜水培能净化养殖废水, 从而实现达标排放。为提高养鱼尾水的养分浓度并

实现达标排放, Rajagopal 等^[14-17]利用浓缩+厌氧+人工湿地组合工艺进行蔬菜水培研究, 结果表明蔬菜的产量和品质与无机肥种植无异。纵观国内外研究, 多是将养鱼尾水浓缩发酵后, 直接进行作物种植, 而对于养鱼尾水的水肥耦合和混合营养液对水培蔬菜生长的研究较少。本研究将工厂化养鱼尾水与水溶肥进行不同比例混合开展营养液膜栽培 (NFT) 水培生菜实验, 探究不同水肥配比下生菜产量、品质变化规律, 并结合熵权法和 TOPSIS 模型确定养鱼尾水与水溶肥的最佳配比, 为养鱼尾水的资源化利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验概况

实验于 2021 年 10-11 月在重庆现代农业高科技园区研发中心鱼菜共生工厂内进行, 位于重庆市九龙坡区白市驿镇 ($106^\circ 36'\text{E}$, $29^\circ 45'\text{N}$)。工厂室内光

照强度为 55000Lx, 昼夜温度范围为 16~25℃。供试的养鱼尾水取自工厂化养殖系统, 养殖密度为 60~80kg·m⁻³。鱼菜共生(NFT)栽培系统及流程如图 1 和图 2 所示, 由图可见, 养殖水经过微滤机和竖流沉淀器过滤后, 得到含有鱼粪和食物残渣的部分水体形成养鱼尾水。尾水经过厌氧-好氧发酵后, 在水培蔬菜区进行养鱼尾水水肥耦合实验。

2021 年 10 月 20 日配肥前 1d, 取尾水测定其中

NH₄⁺-N(纳氏试剂比色法)、NO₃⁻-N(水杨酸比色法)、NO₂⁻-N(离子色谱法)、TP(钼酸铵分光光度法)、CODcr(标准重铬酸钾滴定法)含量和 EC 值^[18], 结果如表 1 所示。蔬菜水培区由 6 套 NFT 栽培系统组成(图 2)。NFT 栽培系统由营养液桶(150L)、小水泵(2m³·h⁻¹)、栽培管道(190 株·套⁻¹)和循环管路组成。水溶肥选择山崎营养液配方, 其组成成分如表 2 所示, 微量元素按通用配方配制(表 3)。

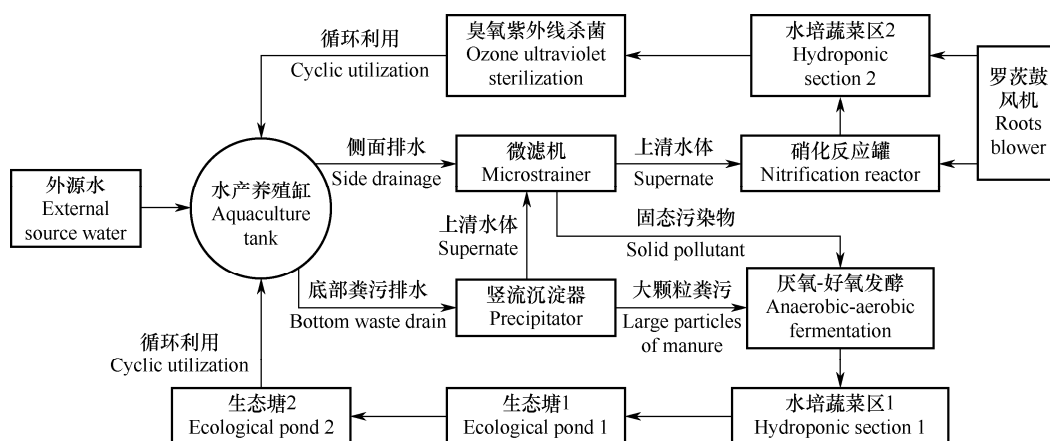


图 1 鱼菜共生系统及养殖尾水循环利用框图

Fig. 1 Aquaponics system and wastewater recycling diagram



图 2 鱼菜共生(NFT)栽培系统

Fig. 2 Aquaponics (NFT) hydroponics system

1.2 处理设置

以奶油生菜为研究对象, 将不同量的山崎水溶肥与 150L 的养鱼尾水混合, 配制成 1 倍(S1)、0.8 倍(S2)、0.6 倍(S3)、0.4 倍(S4)和 0.2 倍(S5)的混合营养液。以清水配置 150L 标准山崎营养液为对照处理(CK)。共 6 个处理, 每处理 5 次重复, 具体见表 4。待生菜长至 4 叶 1 心时, 选取长势一致的生菜幼苗定植于 25cm×25cm 的 NFT 管道中, 每个处理定植 190 株, 进行为期 30d 的水培实验。期间,

分别在第 14、第 20 和第 25 天更换 1 次营养液, 将各处理的 EC 值(电导率, ms·cm⁻¹)控制在表 4 显示的范围, pH 值控制在 5.5~6.5。

1.3 监测指标和计算方法

1.3.1 营养液指标

用 0.001m 刻度尺测量水箱底面积(m²), 在生菜生长过程中, 每 2d 测定 1 次营养液高度(m); 用精度为 1%F.S 的电导率仪(FE30)每 2d 测定 1 次营养液中硝酸盐和 EC 值。水培处理后, 分别计算各处理耗水量和耗肥量。

(1) 耗水量(营养液消耗量)

$$V_i = \sum_{i=1}^n [A(H_i - h_i)] \quad (1)$$

式中, V_i 为营养液的消耗量(m³), H_i 为前一次营养液高度(m), h_i 为本次营养液高度(m), A 为水箱底面积(m²), i 为第 i 次测量($i=1, 2, \dots, 15$)。

(2) 耗肥量(水溶肥消耗量)

$$M_i = \frac{mV_i}{150} + \sum_{i=1}^n \frac{Ah_i(EC_1 - EC_2)}{EC_0 - 0.725} \quad (2)$$

表 1 养鱼尾水水质概况
Table 1 Aquaponics wastewater quality

	水质指标 Water quality index					
	NH_4^+	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	TP	COD _{Cr}	EC($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)
含量 Content($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.58	173.2	5.26	4.06	1208.4	0.725

表 2 标准山崎营养液大量元素配方
Table 2 Yamazaki macroelement liquid formula

	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	KNO_3	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	MgSO_4
含量 Content($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	236	404	57	123

表 3 标准山崎营养液微量元素配方
Table 3 Microelement nutrient solution formula

	EDTA-2NaFe	H_3BO_3	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
含量 Content($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	30	2.86	2.13	0.08	0.22	0.02

表 4 各处理水培生菜营养液配制情况
Table 4 Preparation of nutrient solution of hydroponic lettuce for each treatment

处理 Treatment	营养液配方及浓度 Nutrient solution formula and concentration						养鱼尾水 Wastewater volume(L)	清水 Water volume(L)	EC ($\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\text{KNO}_3(\text{g})$	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(\text{g})$	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	水溶肥含量 Consumption of fertilizers(g)	NSC			
S1	35.40	60.60	8.55	18.45	123.0	1.0	150	0	2.0~2.3
S2	28.32	48.48	6.84	14.76	98.4	0.8	150	0	1.7~2.0
S3	21.24	36.36	5.13	11.07	73.8	0.6	150	0	1.4~1.7
S4	14.16	24.24	3.42	7.38	49.2	0.4	150	0	1.1~1.4
S5	7.08	12.12	1.71	3.69	24.6	0.2	150	0	0.8~1.1
CK	35.40	60.60	8.55	18.45	123.0	1.0	0	150	1.5~1.8

注: NSC 指营养液浓度, 为标准山崎营养液的倍数(倍)。

Note: NSC is nutrient solution concentration that is the multiple of standard Yamazaki nutrient solution(multiple).

式中, M_i 为各处理水溶肥消耗量 (g), m 为配肥时水溶肥用量 (g), EC_0 为首次测量值, EC_1 为上次测量值, EC_2 为本次测量值。

1.3.2 生菜生长指标

水培 30d 后, 用五点取样法选取 5 株生菜, 用吸水纸吸去植株表面残留的水分, 剪刀分离地上部分和根。人工测定生菜叶片数, 用精度为 0.01g 天平测定地上部和根鲜重, 用 0.1cm 刻度尺测量根长, 105℃ 杀青 30min 后, 置于 75℃ 烘箱烘至恒质量后, 用 0.001g 天平称量测量地上部和根干重。

1.3.3 生菜品质指标

采收时, 用五点取样法选取 1kg 生菜鲜样进行破坏性取样, 测定生菜的可溶性糖、可溶性蛋白、VC 和硝酸盐含量。可溶性糖测定采用蒽酮比色法^[14], 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝-G250 染色法^[13], 生菜硝酸盐量测定采用比色法^[15], VC 采用 2, 6-二氯酚靛

酚滴定法^[15]。

1.4 综合效益评价

综合考虑生菜生长指标、品质指标和营养液指标, 采用层次分析法 (AHP) 构建综合效益评价指标体系。采用 L-A-Medal 比率标度法计算各指标主观权重^[18], 通过指标两两之间比较构建判断矩阵, 从而确定各层次相应指标的局部权重和最终权重; 建立基于熵权的多目标决策评价指标体系, 采用熵权法 (EWM)^[19] 计算各项评价指标的客观权重。最后基于熵权法的 TOPSIS 多目标决策分析方法对不同处理方案下生菜水培开展综合效益评价。

(1) 比率标度法计算主观权重

基于生长指标、品质指标和营养液指标共 9 项指标, 利用标度法对各个指标两两之间比较进行评分, 构建判断矩阵, 从而得到各个指标的局部权重和最终权重。

(2) 熵权法计算客观权重

熵权法是通过信息量决定指标权重的一个比较客观的定权方式, 能够减少由主观因素决定指标权重时产生的偏差, 使结果更加符合实际^[20]。

构建初始评价矩阵: 本实验共6组处理设为6个评价对象, 以6个对象9个评价指标构建原始矩阵, 即

$$X = [x_{ij}]_{mn} \quad (3)$$

采用极差法对指标值进行标准化处理, 使其介于0~1之间。

对于叶片数、地上鲜重、地上干重、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C等正向指标, 其标准化处理公式为

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (4)$$

对于叶片硝酸盐含量、营养液消耗量和水溶肥消耗量等负向指标, 其标准化处理公式为

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (5)$$

式中, x_{ij} 为第*i*个单位的第*j*个指标的原始值, x'_{ij} 为经过标准化处理后的第*i*个单位的第*j*个指标。

指标信息熵值 e_j 计算式为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (6)$$

式中, $P_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^n x'_{ij}$, $k = 1 / \ln(n)$ 。 e_j 为第*j*项指标的信息熵值, 值越大, 在综合评价中作用越小, 其权重越小; 反之则权重越大。

确定评价指标权重方程为

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (7)$$

(3) 权重集化融合

为准确客观地评价各指标的重要性, 将L-A-Medal比率标度法计算的主观权重和熵权法计算的客观权重进行融合, 确定单一指标的最终权重。即

$$R_j = \theta_j \omega_j / \sum_{j=1}^n \theta_j \omega_j \quad (8)$$

(4) TOPSIS 法确定最优方案

TOPSIS 是一种典型的多目标决策分析方法, 根据最靠近最优解和最远离最劣解的原则来进行排序^[21]。该方法充分利用了指标数据, 其结果能够

准确反映各种评估方案之间的差距。根据不同的评价对象选择一定数量的评价指标, 选择每个指标的理想值, 并计算每个方案与理想值的距离^[22], 即接近度。通过考虑每个评估对象的优缺点来确定最佳解决方案 (即优缺点解决方案距离法)。

① 确定正负理想解

$$\begin{aligned} X^+ &= (\max\{x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1}\}, \\ &\quad \max\{x_{12}, x_{22}, \dots, x_{m2}\}, \dots, \\ &\quad \max\{x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{mn}\}) = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} X^- &= (\min\{x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1}\}, \\ &\quad \min\{x_{12}, x_{22}, \dots, x_{m2}\}, \dots, \\ &\quad \min\{x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{mn}\}) = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-) \end{aligned} \quad (10)$$

② 计算各指标值与正负理想解的距离

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j^+ - x_{ij})^2} \quad (11)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j^- - x_{ij})^2} \quad (12)$$

③ 计算评价对象与理想解的贴近程度

$$f_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (13)$$

式中, $f_i \in (0, 1)$, f_i 值越大表示越贴近理想值。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 软件进行数据处理及绘图、基于熵权法的各评价指标权重计算, 以及基于 TOPSIS 法的综合评价排序和函数变幅值计算; 采用 SPSS 22.0 进行方差分析, 使用 LSD 法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同处理生菜生长过程营养液耗用量比较

由图3和图4可见, 随着生菜的生长, 累计耗水量和耗肥量逐渐上升, 各处理耗水耗肥量差异逐渐增大。在生菜的生长前中期, 耗水量增长率较大, 而生长后期耗肥量增长率较大, 表明生菜生长前中期对水分的需求量相对较大, 生长后期对营养的需求量相对较大。在生菜的整个生长期中, S1-S5 处理下总耗水量和耗肥量随水溶肥浓度的增加呈先增大后减小的趋势, 190 株处理生菜总耗水量在 190.78~

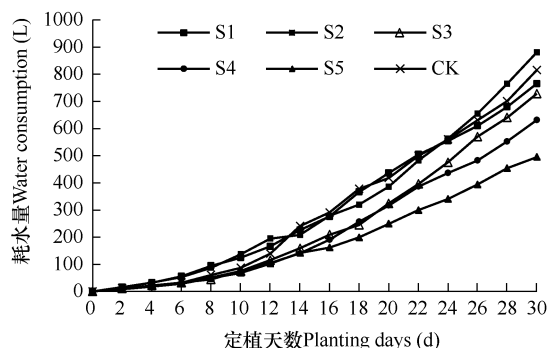


图 3 不同水肥处理下 190 株实验生菜生长过程 (30d) 中累计耗水量变化过程

Fig. 3 Variation of cumulative water consumption during growth (30d) of 190 experimental lettuces treated with different water and fertilizer

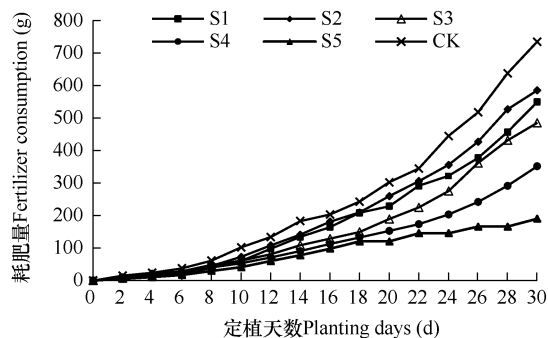


图 4 不同水肥处理下 190 株实验生菜生长过程 (30d) 中累计水溶肥消耗量变化过程

Fig. 4 Variation of cumulative fertilizer consumption during growth (30d) of 190 experimental lettuces under different water and fertilizer treatments

753.48L, 总耗肥在 190.71~585.74g。不同处理下生菜耗水耗肥量均低于 CK 处理。其中, S1-S5 相比 CK 分别节肥 25.01%、19.15%、34.12%、51.89%和 74.10%, 说明养鱼尾水中适当添加水溶肥能提高生

菜对水肥的吸收量。

2.2 不同处理生菜生长比较

以收获时叶片数、地上鲜重、根鲜重、地上干重、根干重、根系长度和根冠比为验证指标, 对不同处理下生菜进行比较, 结果见表 5。由表可见, 生菜叶片数、地上鲜重、根鲜重、地上干重、根干重和产量均随着水溶肥浓度上升呈先增大后减少的趋势。其中, S2 处理下的叶片数最多, 为 35 片·株⁻¹, 其地上鲜重最大, 为 99.1g·株⁻¹, 显著高于其它处理。根冠比是指植物地下部分与地上部分的鲜重或干重的比值, 其大小反映了植物地下部分与地上部分的相关性^[24]。各处理下根冠比排序为 S5>S4>S3>CK>S2>S1, 与根系长度变化趋势一致, 均随着水溶肥浓度的升高呈逐渐减小的趋势, 这是由于营养液浓度较低时, 作物优先将营养用于根系的生长。各处理地上鲜重的排序为 S2>S1>CK>S3>S4>S5, 说明混合营养液水溶肥配比在 0.8、1 倍时, 对地上鲜重的增加效果较为明显。

各处理植株地上鲜重之和为产量。由表可知, S2 处理产量最高, 为 1.88kg·m⁻², 显著高于其它处理, 比 CK 处理(1.63kg·m⁻²)超出 15.32%; S1 处理下产量次之, 为 1.74kg·m⁻², 略高于 CK 处理; 各处理下产量排序为 S2>S1>CK>S3>S4>S5。实验表明当混合营养液水溶肥配比在 0.8、1 倍时植株发育较好, 有较大的鲜重增长量。

2.3 不同处理生菜品质比较

实验测定的奶油生菜主要营养品质指标包括可溶性糖、可溶性蛋白、VC 和硝酸盐, 其中硝酸盐为负向指标, 检测结果见表 6。由表可知, 生菜的可溶

表 5 不同处理生菜生长指标的比较 (平均值±均方差)

Table 5 Comparison of the lettuce quality factors among treatments(mean±SD)

处理 Treatment	叶片数 Leaves	地上鲜重 Fresh weight above ground(g·plant ⁻¹)	根鲜重 Fresh root weight(g·plant ⁻¹)	地上干重 Above-ground dry weight(g·plant ⁻¹)	根干重 Dry weight of root(g·plant ⁻¹)	根系长度 Root length (cm)	根冠比 Root shoot ratio (%)	产量 Yield (kg·m ⁻²)
S1	33.66±1.25b	91.52±2.54b	10.00±0.87ab	0.61±0.07c	4.94±0.22ab	43.28±3.81c	0.10±0.01c	1.74±0.34ab
S2	35.00±0.74a	99.16±3.71a	11.35±1.58a	0.71±0.04a	5.26±0.42a	56.61±3.89b	0.11±0.01c	1.88±0.27a
S3	33.80±1.58b	54.74±5.26b	10.54±0.69b	0.69±0.01b	4.60±0.18b	60.52±2.48a	0.13±0.02bc	1.62±0.42b
S4	32.24±0.45b	63.49±4.90c	7.73±0.49c	0.63±0.09c	4.31±0.23c	61.16±1.59a	0.14±0.01b	1.20±0.35c
S5	29.61±1.25c	43.34±6.58d	9.60±1.09b	0.53±0.03d	3.40±0.16d	60.00±2.98a	0.18±0.03a	0.82±0.14d
CK	32.25±0.58b	85.98±4.98b	11.10±1.35a	0.68±0.07ab	4.40±0.24b	43.00±4.58c	0.13±0.02bc	1.63±0.22b

注: 小写字母表示处理间在 0.05 水平上的差异显著性。下同。

Note: Lowercase indicates the difference significance among treatments at 0.05 level. The same as below.

表 6 不同处理生菜品质指标比较
Table 6 Comparison of the lettuce quality factors among different treatments

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar (%)	可溶性蛋白 Soluble protein (%)	VC (mg·kg ⁻¹)	硝酸盐(以 NO ₃ ⁻ 计) Nitrate (count as NO ₃ ⁻ , mg·kg ⁻¹)
S1	1.62±0.11b	1.39±0.06ab	25.41±0.72a	3323.64±238.70a
S2	1.74±0.08a	1.44±0.14a	16.12±0.81c	2583.08±191.25b
S3	1.59±0.04b	1.27±0.09b	14.74±0.48c	1993.18±135.28c
S4	1.37±0.05c	1.19±0.12c	12.83±0.54d	1255.87±152.69d
S5	1.30±0.10c	1.14±0.04c	10.22±0.29d	730.07±68.74e
CK	1.61±0.05b	1.31±0.08b	19.47±0.71b	3105.13±210.81a

性糖、可溶性蛋白均随着水溶肥浓度上升呈先增大后减少的趋势。与 CK 相比, S1、S2 处理下, 奶油生菜可溶性糖含量分别提升了 0.01 个、0.13 个百分点, 可溶性蛋白含量分别提升了 0.08 个、0.13 个百分点, 其他处理下奶油生菜可溶性糖和可溶性蛋白较 CK 处理有所下降。VC 和硝酸盐含量随水溶肥浓度的增加而增加。S1 处理下 VC 含量较 CK 处理提升了 30.93%, 但其他处理下 VC 含量较 CK 处理有所下降。S2、S3、S4、S5 处理下, 负向指标硝酸盐含量较 CK 处理分别降低了 16.8%、35.81%、59.58%和 76.49%; S1 处理下硝酸盐含量最高, 为 3323.64mg·kg⁻¹, 高于 CK 处理, 且超出国家安全标准(≤3000mg·kg⁻¹)。实验说明适当比例养鱼尾水替代水溶肥进行生菜水培, 不但能提高生菜可溶性糖、可溶性蛋白质含量, 还能适当降低生菜硝酸盐含量, 提高生菜品质。

2.4 不同处理生菜生产综合效益评价

(1) 构建评价指标体系

采用层次分析法(AHP), 选取生菜生长指标包

括叶片数、地上鲜重和地上干重, 生菜品质指标包括可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 和硝酸盐含量, 以及生产过程营养液消耗量和水溶肥消耗量, 共 9 项指标, 根据各指标间的层次关系, 构建综合效益评价指标体系。

(2) 主观法确定指标权重

采用 L-A-Medal 比率标度法, 对单一指标作两两比较构建判断矩阵, 计算各层次相应指标在各目标层中的权重(w_j, ω_j), 结果见表 7。

(3) 熵权法确定指标权重

用选取的 9 项指标构造指标矩阵, 建立基于熵权的多目标决策评价指标体系, 采用熵权法(EWM)计算各项评价指标的客观权重(θ_j)^[19,22], 结果见表 7。

(4) 两种方法融合确定指标权重

将主观权重和客观权重集化融合确定指标的最终权重(R_j), 结果见表 7。从表可以看出, 生菜各单一营养生长指标对不同生育阶段水肥供应处理所

表 7 判断矩阵和层次分析法(AHP)权重计算结果
Table 7 Calculation results of AHP (analytic hierarchy process) weight based on Judgment Matrix and AHP

权重 Weight	生长指标 Growth index			品质指标 Quality index				营养液指标 Nutrient solution index	
	叶片数	地上产量	地上干重	可溶性糖	可溶性蛋白	VC	硝酸盐	耗肥量	耗水量 Water
	Leaves	AGY	AGDW	Soluble sugar	Soluble protein			Fertilizer consumption	consumption
W_j	0.248	0.504	0.248	0.145	0.145	0.145	0.564	0.794	0.206
ω_j	0.148	0.301	0.148	0.043	0.043	0.043	0.165	0.088	0.023
θ_j	0.101	0.099	0.098	0.110	0.105	0.132	0.119	0.129	0.107
R_j	0.140	0.276	0.135	0.044	0.042	0.053	0.183	0.106	0.023

注: W_j 表示某元素 j 在相应目标层内的权重; ω_j 表示该元素在总目标层的最终权值; θ_j 表示熵权法确定的客观权重; R_j 表示主观权重和客观权重集化融合确定的最终权重。

Note: W_j represents the weight of an element j in the corresponding target layer; ω_j represents the final weight of the element in the overall target layer; θ_j represents the objective weight determined by the entropy weight method; R_j represents the final weight determined by the integration of subjective weight and objective weight. AGY is above-ground yield, AGDW is above-ground dry weight.

确定的最终权重以地上产量、硝酸盐和叶片数排名依次靠前,以可溶性糖、可溶性蛋白和耗水量权重最小。

(5) 综合效益评价

基于熵权法的 TOPSIS 法综合评价指标及其排序如表 8 所示。从总体评价排序可以看出,各处理中以 S2 贴近度最高,说明 0.8 倍的养鱼尾水和复合

营养液的处理对奶油生菜的生长最为有利,可以获得较高的产量并兼具较好的品质;S2(0.8)、S3(0.6)、S4(0.4)、S1(1)的排序均高于 CK 处理,表明一定比例的养鱼尾水与水溶肥耦合进行水培生菜实验效果优于清水配置的营养液,优先考虑降低水溶肥成本情况下,0.4 倍的养鱼尾水和水溶肥耦合可达到较为理想的效果。

表 8 TOPSIS 法综合评价指标及其排序

Table 8 Comprehensive evaluation indexes and their ranking by TOPSIS method

处理 Treatment	d_i^+	d_i^-	f_i	排序 Rank
S1	0.070	0.073	0.510	4
S2	0.052	0.086	0.622	1
S3	0.052	0.060	0.534	2
S4	0.058	0.062	0.520	3
S5	0.085	0.070	0.452	6
CK	0.065	0.065	0.502	5

注: d_i^+ 和 d_i^- 分别表示各处理各指标值与正负理想解的距离, f_i 表示评价对象与理想解的贴近程度。

Note: d_i^+ and d_i^- respectively represent the distance between each index value of each treatment and the positive and negative ideal solution, and f_i represents the closeness between the evaluation object and the ideal solution.

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 营养液耗用量与生菜生长

混合营养液能提高生菜对水肥的吸收量。随着水溶肥浓度增大,生菜的水、肥消耗量呈先增大后减小的趋势, S2 处理下耗水耗肥量较高、S5 最低,这可能是因为适宜的根系渗透压差能促进根系对水肥的吸收,过高或过低均不利于植物摄取水肥。表明养鱼尾水只有在与其他液态肥或营养液合理配施下才能达到最佳的水肥利用效果。S1、S2、S3、S4、S5 和 CK 处理营养液的电导率范围分别为 2.0~2.3、1.7~2.0、1.4~1.7、1.1~1.4、0.8~1.1 和 1.5~1.8, S1 处理电导率偏高,这是因为水溶肥浓度过高导致营养液电导率升高,在离子胁迫作用下生菜对营养液吸收过程受到了抑制。王利春等^[23]研究发现封闭式水培生菜营养液消耗量随供氮质量浓度的增加呈先增大后减小的趋势。郑健等^[24-26]将沼液与水溶肥混合进行水培番茄和生菜实验得到了类似的结果。结合产量情况,混合营养液配比在 1 倍和 0.8 倍时产量高于对照处理,说明养鱼尾水能补充蔬菜生长营养元素,用养鱼尾水开展水培具有一定节肥效果。本研究进一步定量提出了养鱼尾水与营养液最优的配施比例,对指导养鱼尾水高效利用具

有一定积极作用。

从本研究结果可知,混合营养液能有效促进生菜叶片、地上部分和根系等生长,提高产量。生菜叶片数、地上鲜重、根鲜重、地上干重、根干重和产量均随着水溶肥浓度上升呈先增大后减少的趋势。S2 处理下生菜产量最高,为 $1.88\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$,相比 CK 处理高 15.32%;可能是由于生菜处于最适氮浓度中,且养鱼尾水中含生长素、赤霉素、氨基酸等物质,能促进生菜产量的增长;此外,本实验的根冠比和根系长度变化趋势一致,均随着水溶肥浓度的升高呈逐渐减小的趋势,这是由于营养液浓度较低时,作物优先将营养用于根系的生长,这也进一步验证了养鱼尾水需要与其它营养液进行合理比例配施才能取得最好的作物生长状态,进而获得最佳的生产效益。本研究发现混合营养液能提高生菜的品质。生菜可溶性糖和可溶性蛋白含量随水溶肥浓度升高而增加, S2 处理下达到最大,这一变化趋势与产量表现一致,可能与作物光合作用相关,由于光合作用初产物中有糖分生成,进而增加叶类作物糖分的积累,已有研究表明,沼液施用可增强作物光合作用^[27],养鱼尾水也是沼液的一种,本研究也得到了类似的发现。此外,生菜的 VC 含量与水溶肥浓度呈正相关,初步分析可能是因为混合营养液中养

鱼尾水中的有机质可以促进植物对铁的吸收^[28], 由于铁是呼吸作用电子传递蛋白复合体的重要组成部分, 促进了电子传递链, 从而促进了 VC 的代谢, 说明利用有机的养鱼尾水部分替代无机化肥溶液有助于提高作物的品质。

3.1.2 营养液配施模式与生菜生产综合效益

综合效益评价结果表明, S2 处理对生菜的生长和综合生产效益最为有利。本研究将 AHP 法和熵权法相结合确定指标权重, 并采用 TOPSIS 评价方法进行综合效益评价。综合效益评价总体排序为 S2>S3>S4>S1>CK>S5, S2 与理想解的贴近度最高, 表明 S2 处理对生菜的生长最为有利, 可以获得较高的产量并兼具较好的品质, 为最佳配比。优先考虑降低水溶肥成本情况下, 0.4 倍的养鱼尾水和水溶肥耦合可达到较为理想的效果, 说明养鱼尾水与其它液体肥或营养液只有在合理的配施模式下才能取得最佳的生产效益。

工厂化水产养殖废水中含有氮、磷、钾、腐殖质、低分子醛类等物质^[29-30], 对作物生长发育起直接营养作用, 但浓度较低, 不能满足蔬菜的高效生长, 需要与其它营养液或液体肥进行优化配施^[31]。本研究将养鱼尾水与水溶肥混合进行水培生菜实验, 实验表明养鱼尾水中适当添加水溶肥, 能促进生菜根系和地上鲜重增长, 从而促进水肥吸收, 提高生菜产量和品质, 利用养殖尾水栽植蔬菜仍然是较好的资源再利用和减少养殖废水污染物排放的途径。本研究通过设置不同的养鱼尾水与营养液的配施模式, 分析了混合营养液配比对水培作物营养液消耗量的影响, 对于营养液中氮、磷、钾等养分质量浓度以及养分耦合调控下水培作物的营养液消耗模型构建及其营养液消耗规律等仍有待进一步探索。另外, 在开展综合效益评价时未考虑经济效益指标, 相关研究有待进一步开展。

3.2 结论

(1) 将养鱼尾水与水溶肥混合水培生菜, 能促进生菜对水肥的吸收。养鱼尾水能补充部分营养元素, S2 处理 (98.4g 水溶肥+150L 养鱼尾水) 相比 CK 处理 (123g 水溶肥+150L 清水) 节肥 19.15%。养鱼尾水与水溶肥混合水培生菜, 能有效促进生菜叶片、地上部分和根系等生长, 提高产量。当配比为 S1 处理 (123g 水溶肥+150L 养鱼尾水) 和 S2 处理时, 产量提升 6.52%、15.32%。

(2) 养鱼尾水与水溶肥混合水培生菜, 能显著改善生菜的品质。当配比为 S1 处理和 S2 处理时, 可溶性糖含量提升 1.81%、3.61%, 可溶性蛋白含量提升 6.11%、9.92%; S1 处理 VC 含量最高; 混合营养液配比在 S3 处理 (73.8g 水溶肥+150L 养鱼尾水) 及以下时, 生菜硝酸盐的含量降低 35.81%~76.49%。

(3) 基于 TOPSIS 法的综合效益评价结果表明, 各处理下的综合效益排序为 S2>S3>S4>S1>CK>S5, 混合营养液为 123g 水溶肥+150L 养鱼尾水时配比最佳, 可以获得较高的产量并兼具较好的品质。优先考虑降低水溶肥成本情况下, 0.4 倍的养鱼尾水和水溶肥耦合可达到较为理想的效果。

参考文献 References

- [1] 方建光,李钟杰,蒋增杰,等.水产生态养殖与新养殖模式发展战略研究[J].中国工程科学,2016,18(3):22-28.
Fang J G,Li Z J,Jiang Z J,et al.Development strategy for ecological aquaculture and new mode of aquacultural farming[J].Strategic Study of CAE,2016,18(3):22-28.(in Chinese)
- [2] 农业部渔业渔政管理局.2021 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2021.
Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture.2021 China fishery statistical yearbook[M]. Beijing:China Agriculture Press,2021.(in Chinese)
- [3] Zhou C,Zhang B H,Lin K,et al.Near-infrared imaging to quantify the feeding behavior of fish in aquaculture[J].Computers and Electronics in Agriculture,2017(2):233-241.
- [4] 罗伟,李强,刘秀,等.四川盆地夏季鱼塘水温变化特征及预报[J].中国农业气象,2022,43(12):980-990.
Luo W,Li Q,Liu X,et al.Water temperature characteristics and prediction of fish ponds in Sichuan basin in summer[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2022,43 (12):980-990.(in Chinese)
- [5] Deng L W,Li Y,Chen Z A,et al.Separation of swine slurry into different concentration fractions and its influence on biogas fermentation[J].Applied Energy,2014,114(2):504-511.
- [6] 靳红梅,付广青,常志州,等.猪、牛粪厌氧发酵中氮素形态转化及其在沼液和沼渣中的分布[J].农业工程学报,2012, 28(21):208-214.
Jin H M,Fu G Q,Chang Z Z,et al.Distribution of nitrogen in

- liquid and solid fraction of pig and dairy manure in anaerobic digestion reactor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(21): 208-214. (in Chinese)
- [7] 陈敏, 杨有泉, 邓素芳, 等. 新食物链生态系统中水流速度对净化效果的影响[J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 41-45.
- Chen M, Yang Y Q, Deng S F, et al. Effect of flow velocity on decontamination of aquaculture circulating water in new food chain ecological system[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2011, 32(1): 41-45. (in Chinese)
- [8] Marpaung A E, Karo B, Barus S, et al. Increasing the quantity and quality of potatoes by utilizing seed size and fish organic fertilizer[J]. E3S Web of Conferences, 2023, 373: 373-380.
- [9] Marpaung A E, Karo B, Barus S, et al. Inorganic fertilizers efficiency with using the liquid organic fertilizer to increase the cabbage yield (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 883(1): 1-7.
- [10] Lindsey L, Shange R, Ankumah O R, et al. Hydrolyzed organic fish fertilizer and poultry litter influence yield and rhizosphere ecology of sweetpotato[J]. HortScience, 2019, 54(5): 941-947.
- [11] 张伟娟, 郭文忠, 王晓晶, 等. 营养液供液高度对水培生菜生长及矿质元素吸收的影响[J]. 中国农业气象, 2018, 39(9): 594-600.
- Zhang W J, Guo W Z, Wang X Q, et al. Effects of nutrient solution levels on the growth and mineral element absorption of hydroponics lettuce[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2018, 39(9): 594-600. (in Chinese)
- [12] 宋超, 刘盼, 朱华, 等. 水芹对富营养化水体的净化效果研究[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(3): 145-148.
- Song C, Liu P, Zhu H, et al. Research of purification effect on eutrophic water by *Oenanthe javanica*[J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(3): 145-148. (in Chinese)
- [13] 刘永霞, 李裕荣, 杨梅, 等. 水培空心菜净化和资源化利用鸡粪沼液研究[J]. 南方农业学报, 2016, 47(8): 1297-1302.
- Liu Y X, Li Y R, Yang M, et al. Purification and resource utilization of chicken manure biogas slurry by using hydroponic water spinach[J]. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(8): 1297-1302. (in Chinese)
- [14] Rajagopal R, Rousseau P, Bernet N, et al. Combined anaerobic and activated sludge anoxic/oxic treatment for piggery wastewater[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(3): 2185-2192.
- [15] 白晓凤, 李子富, 闫园园, 等. 吹脱与鸟粪石沉淀组合工艺处理中温厌氧发酵沼液研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 218-225. (in Chinese)
- Bai X F, Li Z F, Yan Y Y, et al. Treatment of liquid digestate by stripping combined with struvite precipitation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 218-225.
- [16] Sooknah R D, Wilkie A C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater[J]. Ecological Engineering, 2004, 22(1): 27-42.
- [17] Love D C, Fry J P, Li X. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey[J]. Aquaculture, 2015, 435: 67-74.
- [18] Medal L A, Sunitiyoso Y, Kim A A. Prioritizing decision factors of energy efficiency retrofit for facilities portfolio management[J]. Journal of Management in Engineering, 2021, 37(2): 1-12.
- [19] 王正选, 王静, 杨婷婷, 等. 基于改进熵权法的水资源承载力评价: 以曲陆坝区为例[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(4): 82-87.
- Wang Z X, Wang J, Yang T T, et al. Evaluation of water resources carrying capacity based on improved entropy weight method: a case study in Qulu Dam area[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2017, 28(4): 82-87. (in Chinese)
- [20] 张振, 张以晨, 张继权, 等. 基于熵权法和 TOPSIS 模型的城市韧性评估: 以长春市为例[J]. 灾害学, 2023, 38(01): 213-219.
- Zhang Z, Zhang Y C, Zhang J Q, et al. Urban resilience assessment based on entropy weight method and TOPSIS model: take Changchun city as an example[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(1): 213-219. (in Chinese)
- [21] 陈长坤, 陈以琴, 施波, 等. 雨洪灾害情境下城市韧性评估模型[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(4): 1-6.
- Chen C K, Chen Y Q, Shi B, et al. An model for evaluating urban resilience to rainstorm flood disasters[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(4): 1-6. (in Chinese)
- [22] 张霁, 黄航行, 俞雅蓉, 等. 基于熵权法的武威市河长制考

- 核评价研究[J].灌溉排水学报,2021,40(S2):6-10.
- Zhang J,Huang H X,Yu Y R,et al.Evaluation of river head system in Wuwei based on entropy weight method[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2021,40(S2):6-10.(in Chinese)
- [23] 王利春,郭文忠,李友丽,等.供氮质量浓度对水培生菜营养液消耗影响模拟研究[J].灌溉排水学报,2021,40(11):37-43.
- Wang L C,Guo W Z,Li Y L,et al.Simulation water consumption of hydroponic-cultured lettuce: the effects of nitrogen concentration[J].Journal of Irrigation and Drainage, 2021,40(11):37-43.(in Chinese)
- [24] 郑健,朱传远,齐兴赞,等.不同生育阶段水/沼液一体化灌溉对番茄生长及产量和品质的影响[J].灌溉排水学报, 2022,41(5):64-71.
- Zheng J,Zhu C Y,Qi X Y,et al.The effects of irrigation with diluted biogas slurry on growth,yield and fruit quality of tomato[J].Journal of Irrigation and Drainage,2022,41(5): 64-71.(in Chinese)
- [25] 吴冬青,刘明池,李明,等.沼液营养液对快菜生长和生理特性的影响[J].北方园艺,2012(8):27-29.
- Wu D Q,Liu M C,Li M,et al.Effect of biogas slurry as nutrient solutions on the growth and physiological characteristics of fast vegetable[J].Northern Horticulture, 2012(8):27-29.(in Chinese)
- [26] 沈祥军,孙周平,张露,等.沼液番茄营养液配方的研制及应用效果研究[J].沈阳农业大学学报,2013,44(5):599-603.
- Shen X J,Sun Z J,Zhang L,et al.Study on biogas slurry nutrient solution and cultivation effect of tomato[J].Journal of Shenyang Agricultural University,2013,44(5):599-603. (in Chinese)
- [27] 杨鑫.沼液对水培生菜生理生长及营养液特性的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2018.
- Yang X.Effect of biogas slurry on physiological growth and nutrient solution features of hydroponic lettuce[D].Yangling: Northwest A&F University,2018.(in Chinese)
- [28] Gerdemann J W,Nicolson T H.Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting[J].Trans Brit Mycol Soc,1963,46:235-244.
- [29] Korner S, Das S K, Veensta S, et al. The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*[J].Aquatic Botany,2001,7(11): 71-78.
- [30] 李天沛,汪小昆,丁为民,等.鱼菜共生系统中不同种类蔬菜对养殖尾水氮素转化的影响[J].农业工程学报,2022, 38(9):247-252.
- Li T P,Wang X C,Ding W M,et al.Effects of different vegetables in aquaponics system on nitrogen conversion in aquaculture tail water[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2022,38(9):247-252. (in Chinese)
- [31] Zou Y,Hu Z,Zhang J,et al.Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics[J].Bioresource Technology,2016,210:81-87.