

# 铺底膜对土壤养分、莲藕光合特性和产量的影响

王虹妍<sup>1</sup>, 欧阳秀<sup>2</sup>, 苏群<sup>1</sup>, 吴银环<sup>2</sup>, 高美萍<sup>2</sup>, 蒋慧萍<sup>2</sup>

(1. 广西壮族自治区农业科学院花卉研究所 南宁 530007; 2. 广西壮族自治区农业科学院蔬菜研究所 南宁 530007)

**摘要:**以覃塘莲藕、鄂莲 6 号和鄂莲 10 号为材料, 设置铺底膜(M)和不铺底膜(CK)2 个处理, 分析铺底膜栽培方式对莲田土壤养分、莲叶片生长和光合特性及莲藕产量的影响, 以期为莲藕优质高效栽培提供参考。结果表明: 3 个品种在定植后 60~150 d, M 处理的土壤 pH 均显著高于相应 CK, 定植后 180 d, 鄂莲 6 号 M 处理的土壤 pH 显著高于 CK; 3 个品种在定植后各时间 M 处理的土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾和速效钾含量均显著高于相应 CK。定植后 120 d, 覃塘莲藕 M 处理的叶柄高和叶柄粗均显著高于 CK; 定植后 90 d, 鄂莲 6 号 M 处理的叶柄高、叶片长半径、叶片短半径均显著高于 CK; 定植后 60 d, 鄂莲 10 号 M 处理的叶柄高、叶柄粗均显著高于 CK。鄂莲 6 号在定植后 60 d 与覃塘莲藕在定植后 90 d, M 处理的净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率均高于相应 CK。鄂莲 6 号、覃塘莲藕、鄂莲 10 号 M 处理的产量较 CK 分别显著提高 109.58%、65.28%、42.84%。综上, 藕田铺底膜栽培方式能保持土壤养分, 提高肥料利用率, 促进莲叶片生长和光合能力, 提高莲藕产量, 是一项值得推广的轻简化高效栽培技术。

**关键词:** 莲藕; 铺底膜; 土壤养分; 光合特性; 产量

中图分类号: S645.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)04-210-08

## Effects of subsurface geomembrane mulching on soil nutrient, photosynthetic characteristics and yield of lotus rhizome

WANG Hongyan<sup>1</sup>, OU Yangxiu<sup>2</sup>, SU Qun<sup>1</sup>, WU Yinhan<sup>2</sup>, GAO Meiping<sup>2</sup>, JIANG Huiping<sup>2</sup>

(1. Flower Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China; 2. Vegetable Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China)

**Abstract:** Taking three cultivars of *Nelumbo nucifera*, Qintang lotus, Elian No. 6 and Elian No. 10 as materials, two experimental treatments were set: Subsurface geomembrane mulch (M) and no subsurface geomembrane mulch (CK). Effects of subsurface geomembrane mulching on soil nutrient dynamics, growth and photosynthetic parameters of lotus leaves, yield of rhizome were analyzed, in order to provide references for high-quality and high-efficiency cultivation of lotus. The results showed that during 60-150 days after transplanting (DAT), soil pH under M treatment was significantly higher than that under the corresponding CK for all three cultivars. At 180 DAT, soil pH of Elian No. 6 under M treatment was significantly higher than that under CK. The content of soil organic matter, total nitrogen, alkali hydrolyzed nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, total potassium and available potassium under M treatment were significantly higher than those under the corresponding CK at each sampling date for all three cultivars. At 120 DAT, petiole height and petiole thickness of Qintang lotus under M treatment were significantly higher than those under the corresponding CK. At 90 DAT, petiole height, leaf long radius and leaf short radius of Elian No. 6 under M treatment were significantly higher than those under the corresponding CK. At 60 DAT, petiole height and petiole thickness of Elian No. 10 under M treatment were significantly higher than those under the corresponding CK. At 60 DAT of Elian No. 6 and 90 DAT of Qintang lotus, the net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, and transpiration rate under M treatment were higher than those under the corresponding CK. Compared with CK, the rhizome yield under M treatment increased by 109.58% of Elian No. 6, 65.28% of Qintang lotus, and 42.84% of Elian No. 10, respectively. In conclusion, subsurface geomembrane mulching cultivation pattern of lotus can maintain soil nutrients, improve fertilizer use efficiency.

收稿日期: 2025-06-16; 修回日期: 2025-09-23

**基金项目:** 广西科技计划项目(农业农村领域)(桂科农 AA2512260015); 广西特色作物覃塘莲藕试验站(桂 TS2022012); 广西蔬菜产业科技先锋队(桂农科盟 202605); 广西农业科学院科技发展基金项目(桂农科 2024YP104, 桂农科 2026YT089, 桂农科 2026YT105)

**作者简介:** 王虹妍, 女, 助理研究员, 研究方向为水生作物育种与栽培技术。E-mail: wanghongyan721@qq.com

**通信作者:** 蒋慧萍, 女, 副研究员, 研究方向为水生蔬菜育种与栽培技术。E-mail: jianghuiping@gxaas.net

cy, promote leaf growth and photosynthetic capacity, and increase rhizome yield. It is a labor-saving and efficient cultivation technique worthy of popularization.

**Key words:** Lotus rhizome; Subsurface geomenbrane mulch; Soil nutrient; Photosynthetic characteristics; Yield

莲藕是我国栽培面积最大的水生蔬菜<sup>[1]</sup>,《神农本草经》中记载“熟藕性温,可养血生肌、健脾益气”,具有温补、清肺等功效。莲藕富含淀粉、蛋白质、维生素、类黄酮和膳食纤维等营养物质<sup>[2]</sup>,具有抗炎、降血糖、降血脂等功效,可以预防慢性疾病的发生<sup>[3]</sup>,是“药食同源”特色蔬菜,深受消费者的喜爱<sup>[4]</sup>。近年来广西莲藕种植面积增长,形成了一定的产业规模,2023年种植面积达3.00万hm<sup>2</sup>,然而莲藕生产成本呈波动上升趋势,存在机械化水平偏低、人工投入大、土地产出率下降等问题<sup>[5-6]</sup>,其中莲藕采挖人工投入成本最高。为更好地解决莲藕生产中挖藕成本高、效率低等问题,藕田铺底膜栽培模式得到推广运用,该模式在莲藕采挖时能省工省力、节省劳动成本,有利于莲藕机械化收获,解决挖藕难的问题<sup>[7-8]</sup>。因此,研究铺底膜栽培方式对藕田土壤养分、莲藕生长和产量的影响,对促进莲藕产业优质高效发展具有重要意义。

前人研究发现,藕田铺底膜栽培方式,有利于减少养分的消耗,促进干物质积累,提高莲藕产量和商品性,比传统栽培方式具有更高的经济效益,采藕效率显著提高,省时省工<sup>[7-9]</sup>。陈建明等<sup>[7]</sup>研究发现,藕塘铺底膜栽培模式与普通露地栽培相比,每667m<sup>2</sup>的产量增产500kg,除去底膜成本,净增效益为2850元。何圣米等<sup>[8]</sup>分析发现藕田铺底膜的栽培模式比传统栽培方式综合效益每667m<sup>2</sup>提高4850元,具有清园简便、减轻连作障碍等优点。庞法松等<sup>[9]</sup>研究表明,采用藕池专用膜种植莲藕,产品产值提高62.0%,经济效益提高63.5%,更适宜机械化采收。然而,目前关于藕田铺底膜栽培方式对莲田土壤养分动态变化、莲叶片生长及光合指标、莲藕产量等方面影响的研究较少。

本研究旨在探讨不同生长阶段,铺底膜栽培方式对莲田土壤养分、莲藕光合特性和产量的影响,从土壤理化性质、叶片生长指标、叶片光合参数、莲藕产量等方面进行分析,为莲藕的高效生产栽培提供技术支持和理论参考,推动莲藕产业的可持续发展。

## 1 材料与方

### 1.1 试验地概况

试验于2024年4—10月在广西壮族自治区贵

港市覃塘区覃塘街道龙凤村覃塘莲藕试验站进行。该地区属于南亚热带湿润季风气候,年平均气温在23.9℃以上,无霜期在306d以上,年降水量为1500~2100mm。

### 1.2 试验材料

供试材料为覃塘莲藕、鄂莲6号和鄂莲10号,种藕均来自广西农业科学院武鸣里建基地莲藕种质资源圃。底部铺设高密度聚乙烯防渗底膜,厚度为1.5mm50丝,使用年限为15年,长×宽为50m×6m。

### 1.3 试验设计

2024年4月19日分别选择健康种藕种植于试验地,试验采用完全随机设计,共设置2个处理:铺底膜处理(M)和不铺底膜处理(常规栽培方式,CK),每个处理3次重复,小区面积为36m<sup>2</sup>,共18个小区,各小区随机排列。每个小区种植6株,株行距为1.5m×2.0m。

铺底膜处理(M)将高密度聚乙烯防渗底膜边重叠10cm,用焊接方式拼接,池内回填土20~25cm厚,与常规种植田块耕作层土壤厚度一致,田埂高60cm、宽40cm。铺底膜处理和不铺底膜处理均按照正常田间管理措施进行。待莲藕长出立叶后,分别于2024年6月18日、7月18日、8月17日测量叶片生长指标、光合特性指标,3次重复;2024年6—10月,每30d测量藕田水温、土温和土壤理化性质,取样时间及其生长阶段见表1。

### 1.4 测定项目与方法

土壤理化性质的测定:每个小区随机选取5个

表1 取样时间及其生长阶段  
Table 1 Sampling date and growth stage

定植后时间 Time after transplanting/d	取样时间 Sampling date	生长阶段 Growth stage
60	6月18日 June 18th	立叶期 Leaf standing stage
90	7月18日 July 18th	莲藕膨大前期 Rhizome early-swelling stage
120	8月17日 August 17th	莲藕膨大中期 Rhizome mid-swelling stage
150	9月16日 September 16th	莲藕膨大后期 Rhizome late-swelling stage
180	10月16日 October 16th	莲藕成熟采收期 Rhizome maturity and harvesting stage

点,采集 20 cm 深度土壤,将其混合风干后磨碎过 20 目筛和 100 目筛备用,3 次重复。土壤 pH 值以水土比 2.5:1 处理后用酸度计测定。参照鲍士坦的方法<sup>[10]</sup>,采用重铬酸钾氧化分光光度法测定土壤有机质含量,采用凯氏定氮法测定土壤全氮含量,采用钼锑抗比色法测定土壤全磷含量和土壤有效磷含量,采用火焰光度法测定土壤全钾含量,采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量,采用火焰光度法测定土壤速效钾含量。

水温、土温的测定:每个小区随机选取 5 个点,使用探针式温度计测定水深 5 cm(距水面 5 cm)的水温及土壤深度 10 cm 的土温,3 次重复。

叶片生长指标及光合参数的测定:每个小区选取长势一致、生长发育良好的 10 片立叶,用卷尺测量叶片长半径、叶片短半径、叶柄高和叶柄粗。采用 Li-6400 便携式光合仪(美国 LI-COR 公司)于晴天 09:00—11:00 测量光合参数,包括净光合速率( $P_n$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )、气孔导度( $G_s$ )与蒸腾速率( $T_r$ ),内置参比室  $CO_2$  浓度为  $400 \mu mol \cdot mol^{-1}$ ,红蓝光强为  $1000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ,叶室内设定空气流速  $500 \mu mol \cdot s^{-1}$ 。

莲藕产量指标的测定:待莲藕地上部分全部干枯后,挖出冲洗干净后称质量,计算小区产量,并折算成每  $667 m^2$  产量;每个小区选取长势一致、健康的 5 支莲藕,单支藕中去除子藕、孙藕的质量为主藕质量;单支藕的主藕主节段(通常为顶芽以下的第 3 节间)的质量为主藕节间质量。

### 1.5 数据分析

采用 Excel 2017 处理试验数据,采用 SPSS 20.0 进行单因素(ANOVA)方差分析及差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 铺底膜对土壤理化性质的影响

3 个品种不同处理土壤的 pH 和有机质含量如表 2 所示,定植后 60~150 d,3 个品种 M 处理的土壤 pH 均显著高于相应 CK,定植后 180 d,鄂莲 6 号 M 处理的土壤 pH 显著高于 CK,3 个品种 M 处理较 CK 平均提升 3.06%;3 个品种在定植后各时间 M 处理的土壤有机质含量均显著高于相应 CK,较 CK 平均提升 20.52%。

由表 3 可知,3 个品种在定植后各时间 M 处理的土壤全氮、碱解氮含量均显著高于相应 CK,M 处理的全氮含量较 CK 平均提升 36.06%,碱解氮含量平均提升 38.68%。

由表 4 可知,3 个品种在定植后各时间 M 处理的土壤全磷含量、有效磷含量均显著高于相应 CK,M 处理较 CK 的全磷含量平均提升 24.47%,有效磷含量平均提升 22.40%。

由表 5 可知,3 个品种在定植后各时间 M 处理的土壤全钾含量、速效钾含量均显著高于相应 CK,M 处理较 CK 的全钾含量平均提升 39.36%,速效钾含量平均提升 44.95%。

综上,3 个品种在定植后各时间 M 处理的土壤

表 2 铺底膜对土壤 pH 和有机质含量的影响

Table 2 Effects of subsurface geomembrane mulching on pH and organic matter content of soil

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	pH			w(有机质) Organic matter content/(mg·g <sup>-1</sup> )		
		覃塘莲藕 Qintang lotus	鄂莲 6 号 Elian No. 6	鄂莲 10 号 Elian No. 10	覃塘莲藕 Qintang lotus	鄂莲 6 号 Elian No. 6	鄂莲 10 号 Elian No. 10
60	M	6.68±0.03 a	6.47±0.02 a	6.34±0.02 a	10.00±0.02 a	7.89±0.03 a	7.84±0.01 a
	CK	5.84±0.01 b	6.28±0.02 b	6.25±0.01 b	8.43±0.05 b	6.30±0.03 b	7.54±0.07 b
90	M	6.42±0.01 a	6.41±0.02 a	6.12±0.02 a	5.32±0.04 a	5.90±0.02 a	7.32±0.03 a
	CK	6.34±0.01 b	6.33±0.01 b	5.82±0.01 b	4.68±0.08 b	5.73±0.01 b	5.05±0.12 b
120	M	6.67±0.02 a	6.65±0.02 a	6.74±0.03 a	8.07±0.04 a	8.68±0.04 a	11.50±0.71 a
	CK	6.47±0.08 b	6.55±0.02 b	6.51±0.01 b	6.06±0.03 b	6.07±0.06 b	8.40±0.08 b
150	M	6.79±0.02 a	6.66±0.03 a	6.56±0.02 a	8.82±0.09 a	8.73±0.07 a	9.93±0.01 a
	CK	6.42±0.02 b	6.52±0.02 b	6.50±0.01 b	7.50±0.22 b	7.30±0.01 b	9.56±0.01 b
180	M	6.43±0.01 a	6.53±0.02 a	6.44±0.01 a	8.73±0.05 a	9.49±0.14 a	9.36±0.23 a
	CK	6.42±0.01 a	6.40±0.01 b	6.43±0.01 a	7.95±0.06 b	8.74±0.10 b	7.44±0.15 b

注:同列数据后不同小写字母表示同一时期不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at same stage at 0.05 level. The same below.

表3 铺底膜对土壤全氮含量和碱解氮含量的影响

Table 3 Effects of subsurface geomembrane mulching on total nitrogen and alkali hydrolyzed nitrogen content of soil

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	w(全氮)Total nitrogen content/(mg·kg <sup>-1</sup> )			w(碱解氮) Alkali hydrolyzed nitrogen content/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
		覃塘莲藕	鄂莲6号	鄂莲10号	覃塘莲藕	鄂莲6号	鄂莲10号
		Qintang lotus	Elían No. 6	Elían No. 10	Qintang lotus	Elían No. 6	Elían No. 10
60	M	927.20±6.86 a	922.37±13.44 a	704.78±23.12 a	103.41±1.41 a	71.70±2.31 a	83.21±0.97 a
	CK	785.70±20.22 b	462.43±20.53 b	581.16±16.53 b	59.33±0.45 b	59.07±1.85 b	75.53±0.87 b
90	M	637.54±17.36 a	670.47±2.96 a	668.02±9.11 a	75.91±1.55 a	74.37±1.09 a	68.14±0.40 a
	CK	410.70±2.10 b	597.18±13.74 b	549.36±5.12 b	49.23±1.59 b	55.02±0.86 b	40.33±0.80 b
120	M	889.50±11.11 a	883.68±5.23 a	863.82±9.27 a	82.58±1.06 a	78.98±0.17 a	81.06±0.93 a
	CK	613.67±10.79 b	649.73±3.87 b	624.71±8.19 b	55.84±1.10 b	47.54±0.59 b	53.63±1.04 b
150	M	836.31±11.70 a	1 014.17±24.49 a	1 086.21±21.60 a	67.99±1.20 a	77.18±1.11 a	101.64±1.59 a
	CK	744.23±13.61 b	704.98±3.25 b	700.99±8.71 b	57.83±0.79 b	58.94±1.47 b	72.91±2.33 b
180	M	979.14±17.55 a	972.53±15.19 a	1 028.24±7.55 a	90.52±1.62 a	89.61±2.31 a	77.97±0.24 a
	CK	744.86±13.34 b	779.44±9.52 b	813.19±9.26 b	73.58±0.88 b	70.51±1.14 b	69.10±1.34 b

表4 铺底膜对土壤全磷含量和有效磷含量的影响

Table 4 Effects of subsurface geomembrane mulching on total phosphorus and available phosphorus content of soil

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	w(全磷)Total phosphorus content/(mg·kg <sup>-1</sup> )			w(有效磷)Available phosphorus content/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
		覃塘莲藕	鄂莲6号	鄂莲10号	覃塘莲藕	鄂莲6号	鄂莲10号
		Qintang lotus	Elían No. 6	Elían No. 10	Qintang lotus	Elían No. 6	Elían No. 10
60	M	766.37±20.63 a	910.40±24.38 a	718.19±18.01 a	207.02±7.39 a	193.86±2.27 a	195.83±1.67 a
	CK	537.00±11.89 b	458.40±7.36 b	634.43±1.54 b	163.88±3.80 b	105.83±2.94 b	162.55±1.98 b
90	M	541.63±1.13 a	557.24±13.19 a	607.36±11.47 a	135.25±5.58 a	136.66±0.58 a	169.79±4.29 a
	CK	472.83±0.02 b	441.02±1.47 b	387.71±6.25 b	96.39±2.04 b	129.42±2.38 b	108.92±3.94 b
120	M	642.54±1.60 a	582.59±2.03 a	601.34±4.00 a	37.12±0.18 a	34.32±0.18 a	35.63±0.17 a
	CK	543.98±0.87 b	535.67±3.73 b	509.00±2.78 b	33.23±0.25 b	31.77±0.22 b	30.43±0.08 b
150	M	610.06±3.52 a	550.34±3.01 a	550.39±1.24 a	37.14±0.17 a	32.59±0.26 a	33.40±0.20 a
	CK	527.36±1.54 b	515.46±3.20 b	505.36±2.82 b	32.46±0.20 b	31.46±0.15 b	29.37±0.12 b
180	M	572.21±2.72 a	529.57±3.16 a	536.94±3.83 a	33.76±0.11 a	31.62±0.12 a	32.23±0.07 a
	CK	454.11±1.96 b	496.77±3.62 b	506.52±1.41 b	27.07±0.22 b	30.10±0.21 b	30.41±0.19 b

表5 铺底膜对土壤全钾含量和速效钾含量的影响

Table 5 Effects of subsurface geomembrane mulching on total potassium and available potassium content of soil

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	w(全钾)Total potassium content/(mg·g <sup>-1</sup> )			w(速效钾)Available potassium content/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
		覃塘莲藕	鄂莲6号	鄂莲10号	覃塘莲藕	鄂莲6号	鄂莲10号
		Qintang lotus	Elían No. 6	Elían No. 10	Qintang lotus	Elían No. 6	Elían No. 10
60	M	14.99±0.21 a	22.06±0.39 a	23.16±0.05 a	179.90±4.14 a	173.86±3.07 a	171.73±4.01 a
	CK	12.31±0.16 b	17.54±0.05 b	18.09±0.42 b	125.67±3.26 b	125.99±2.15 b	112.72±0.29 b
90	M	17.57±0.15 a	18.69±0.56 a	15.01±0.06 a	181.98±3.22 a	182.61±0.60 a	175.51±1.30 a
	CK	13.05±0.24 b	14.83±0.38 b	13.10±0.02 b	119.58±4.42 b	149.51±0.44 b	117.61±2.57 b
120	M	26.42±0.17 a	35.19±0.22 a	27.57±0.18 a	286.72±2.52 a	288.86±7.28 a	227.26±6.50 a
	CK	20.76±0.10 b	20.57±0.06 b	14.26±0.07 b	168.18±3.11 b	169.60±0.67 b	119.35±4.13 b
150	M	27.88±0.15 a	21.77±0.11 a	29.27±0.11 a	230.27±4.23 a	180.29±5.23 a	243.51±3.11 a
	CK	18.40±0.12 b	11.70±0.04 b	25.26±0.15 b	158.62±2.85 b	143.19±1.88 b	209.97±2.37 b
180	M	26.53±0.12 a	23.75±0.03 a	24.16±0.14 a	220.23±2.83 a	193.89±5.96 a	195.75±5.72 a
	CK	20.70±0.15 b	17.12±0.09 b	18.93±0.07 b	163.82±2.52 b	140.38±3.05 b	154.98±9.77 b

有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾含量均显著高于相应CK,而且平均提升20%以上,说明M处理有利于保持土壤养分。

## 2.2 铺底膜对水温和土温的影响

由表6可知,3个品种在定植后各时间M处理的水温及土温与相应CK相比均无显著差异,说明

M 处理对水温和土温的影响较小。

### 2.3 铺底膜对莲藕叶片生长的影响

由表 7 可知,覃塘莲藕在定植后 60 d,M 处理

的叶柄高、叶柄粗、叶片长半径和叶片短半径与 CK 均无显著差异;定植后 90 d,M 处理的叶柄高显著高于 CK;定植后 120 d,M 处理的叶柄高和叶柄粗

表 6 铺底膜对水温和土温的影响

Table 6 Effects of subsurface geomembrane mulching on water temperature and soil temperature

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	水温 Water temperature/°C			土温 Soil temperature/°C		
		覃塘莲藕 Qintang lotus	鄂莲 6 号 Elian No. 6	鄂莲 10 号 Elian No. 10	覃塘莲藕 Qintang lotus	鄂莲 6 号 Elian No. 6	鄂莲 10 号 Elian No. 10
		60	M	29.72±0.43 a	28.96±0.02 a	28.80±0.29 a	27.90±0.18 a
	CK	30.02±0.47 a	29.84±0.19 a	29.20±0.29 a	27.80±0.08 a	27.50±0.03 a	27.70±0.08 a
90	M	28.24±0.02 a	28.42±0.13 a	28.64±0.21 a	28.14±0.10 a	28.50±0.11 a	28.30±0.07 a
	CK	28.28±0.04 a	28.34±0.31 a	28.98±0.17 a	28.34±0.05 a	28.72±0.06 a	28.44±0.14 a
120	M	28.44±0.12 a	29.04±0.02 a	29.14±0.14 a	28.28±0.09 a	29.04±0.09 a	29.08±0.07 a
	CK	28.54±0.04 a	29.08±0.14 a	29.06±0.22 a	28.50±0.08 a	29.12±0.07 a	28.84±0.10 a
150	M	23.14±0.07 a	23.06±0.05 a	23.12±0.05 a	26.56±0.09 a	27.00±0.09 a	27.66±0.13 a
	CK	23.10±0.09 a	23.12±0.15 a	23.08±0.07 a	26.64±0.24 a	27.28±0.11 a	27.38±0.23 a
180	M	26.30±0.06 a	26.82±0.02 a	26.84±0.09 a	27.02±0.05 a	27.66±0.07 a	27.40±0.06 a
	CK	26.04±0.02 a	26.58±0.07 a	26.58±0.04 a	26.98±0.07 a	27.40±0.06 a	27.46±0.06 a

表 7 铺底膜对覃塘莲藕叶片生长的影响

Table 7 Effects of subsurface geomembrane mulching on leaf growth of Qintang lotus

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	叶柄高 Petiole height/cm	叶柄粗 Petiole thickness/mm	叶片长半径 Leaf length radius/cm	叶片短半径 Leaf short radius/cm
60	M	86.35±4.77 a	13.07±0.39 a	31.00±0.70 a	21.70±0.86 a
	CK	85.20±2.79 a	12.45±0.62 a	28.62±1.01 a	21.60±0.55 a
90	M	140.30±4.68 a	15.97±0.45 a	36.02±1.00 a	29.85±1.80 a
	CK	124.90±5.66 b	15.49±0.68 a	35.88±0.75 a	29.60±1.19 a
120	M	155.00±4.01 a	15.33±0.50 a	33.70±0.76 a	26.00±0.73 a
	CK	132.00±4.83 b	14.02±0.29 b	31.75±0.74 a	25.65±1.12 a

显著高于 CK。

由表 8 可知,鄂莲 6 号在定植后 60 d,M 处理的叶柄粗显著高于 CK;定植后 90 d,M 处理的叶柄高、叶片长半径和叶片短半径均显著高于 CK;定植

后 120 d,M 处理的叶柄高显著高于 CK。

由表 9 可知,鄂莲 10 号在定植后 60 d,M 处理的叶柄高和叶柄粗均显著高于 CK;定植后 90 d 和 120 d,叶柄高、叶柄粗、叶片长半径和叶片短半径 M

表 8 铺底膜对鄂莲 6 号叶片生长的影响

Table 8 Effects of subsurface geomembrane mulching on leaf growth of Elian No. 6

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	叶柄高 Petiole height/cm	叶柄粗 Petiole thickness/mm	叶片长半径 Leaf length radius/cm	叶片短半径 Leaf short radius/cm
60	M	106.10±5.05 a	14.15±0.32 a	32.50±0.67 a	24.30±0.52 a
	CK	105.20±3.82 a	12.98±0.34 b	29.65±1.45 a	22.60±1.57 a
90	M	131.50±2.62 a	15.43±0.54 a	37.40±0.91 a	29.67±1.07 a
	CK	119.90±4.33 b	14.49±0.37 a	33.82±0.49 b	26.70±0.78 b
120	M	137.00±3.98 a	14.05±0.40 a	33.80±0.80 a	25.90±0.88 a
	CK	115.80±3.51 b	13.04±0.37 a	31.90±1.10 a	24.50±1.04 a

处理与 CK 均无显著差异。

### 2.4 铺底膜对莲藕叶片光合参数的影响

由表 10 可知,覃塘莲藕在定植后 60 d 和 120 d,M 处理的净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率与 CK 均无显著差异;定植后 90 d,M 处理

的净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率均显著高于 CK。

由表 11 可知,鄂莲 6 号在定植后 60 d,M 处理的净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率均显著高于 CK;定植后 90 d 和 120 d,M 处理的净

表9 铺底膜对鄂莲10号叶片生长的影响

Table 9 Effects of subsurface geomembrane mulching on leaf growth of Elian No. 10

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	叶柄高 Petiole height/cm	叶柄粗 Petiole thickness/mm	叶片长半径 Leaf length radius/cm	叶片短半径 Leaf short radius/cm
60	M	97.20±3.96 a	13.97±0.67 a	34.50±0.89 a	23.00±0.98 a
	CK	77.20±4.79 b	12.21±0.45 b	32.25±1.07 a	22.65±0.63 a
90	M	125.00±4.90 a	15.69±0.41 a	39.09±0.74 a	30.79±0.75 a
	CK	124.30±3.83 a	15.67±0.52 a	36.73±0.91 a	27.28±1.19 a
120	M	116.70±4.04 a	14.06±0.62 a	34.90±1.31 a	26.90±1.68 a
	CK	112.60±2.75 a	13.57±0.39 a	32.70±0.54 a	26.90±1.22 a

表10 铺底膜对覃塘莲藕叶片光合参数的影响

Table 10 Effects of subsurface geomembrane mulching on leaf photosynthetic parameters of Qintang lotus

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	气孔导度 Stomatal conductivity/ ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	蒸腾速率 Transpiration rate/ ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
60	M	21.52±0.61 a	0.57±0.05 a	291.39±5.01 a	4.93±0.21 a
	CK	21.03±1.05 a	0.46±0.05 a	289.82±4.78 a	4.40±0.31 a
90	M	24.94±0.52 a	0.44±0.04 a	281.49±5.33 a	5.15±0.24 a
	CK	22.51±0.55 b	0.33±0.02 b	263.83±5.27 b	4.37±0.17 b
120	M	22.22±1.09 a	0.17±0.01 a	150.64±1.01 a	1.53±0.07 a
	CK	20.58±0.87 a	0.12±0.02 a	149.80±1.98 a	1.05±0.37 a

表11 铺底膜对鄂莲6号叶片光合参数的影响

Table 11 Effects of subsurface geomembrane mulching on leaf photosynthetic parameters of Elian No. 6

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	气孔导度 Stomatal conductivity/ ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	蒸腾速率 Transpiration rate/ ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
60	M	24.72±1.03 a	0.61±0.06 a	320.26±7.77 a	5.24±0.29 a
	CK	20.02±1.31 b	0.39±0.05 b	279.39±6.08 b	4.05±0.36 b
90	M	22.68±0.64 a	0.36±0.04 a	268.69±7.77 a	4.48±0.25 a
	CK	22.44±0.59 a	0.35±0.03 a	265.89±7.54 a	4.39±0.34 a
120	M	20.11±0.97 a	0.14±0.01 a	146.99±2.87 a	1.52±0.11 a
	CK	18.02±0.75 a	0.11±0.02 a	133.13±10.10 a	1.32±0.17 a

光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率与 CK 均无显著差异。

由表 12 可知,鄂莲 10 号在定植后 60、90 和 120 d, M 处理的净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓

度、蒸腾速率均高于 CK,但与 CK 均无显著差异。

## 2.5 铺底膜对莲藕产量指标的影响

由表 13 可知,覃塘莲藕、鄂莲 6 号和鄂莲 10 号 3 个品种 M 处理的主藕质量、主藕节间质量和产

表12 铺底膜对鄂莲10号叶片光合参数的影响

Table 12 Effects of subsurface geomembrane mulching on leaf photosynthetic parameters of Elian No. 10

定植后时间 Time after transplanting/d	处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	气孔导度 Stomatal conductivity/ ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Intercellular CO <sub>2</sub> concentration/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	蒸腾速率 Transpiration rate/ ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
60	M	21.24±1.06 a	0.69±0.08 a	314.49±2.76 a	5.47±0.31 a
	CK	20.92±0.34 a	0.55±0.04 a	306.02±2.83 a	4.88±0.18 a
90	M	23.43±1.10 a	0.37±0.03 a	271.86±7.46 a	4.44±0.26 a
	CK	23.13±0.72 a	0.36±0.03 a	269.96±6.97 a	4.31±0.24 a
120	M	21.47±0.76 a	0.08±0.04 a	151.72±1.32 a	0.94±0.16 a
	CK	19.22±0.65 a	0.06±0.02 a	150.88±2.47 a	0.72±0.07 a

量均高于相应 CK,其中鄂莲 6 号 M 处理的主藕节间质量显著高于 CK。3 个品种 M 处理的莲藕产量均显著高于相应 CK,其中鄂莲 6 号 M 处理的产量

最高,较 CK 显著提高 109.58%;覃塘莲藕 M 处理的产量较 CK 显著提高 65.28%;鄂莲 10 号 M 处理的产量较 CK 显著提高 42.84%,说明 M 处理有利

表 13 铺底膜对莲藕产量指标的影响

Table 13 Effects of subsurface geomembrane mulching on yield indexes of lotus rhizome

品种 Cultivar	处理 Treatment	主藕质量 Main rhizome mass/kg	主藕节间质量 Main rhizome internode mass/kg	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )
覃塘莲藕 Qintang lotus	M	1.28±0.14 a	0.30±0.01 a	18 707.75±0.56 a
鄂莲 6 号 Elian No. 6	CK	1.26±0.10 a	0.22±0.02 a	11 318.68±0.65 b
鄂莲 6 号 Elian No. 6	M	1.72±0.07 a	0.32±0.02 a	28 667.97±1.19 a
鄂莲 10 号 Elian No. 10	CK	1.46±0.10 a	0.18±0.02 b	13 678.47±0.76 b
鄂莲 10 号 Elian No. 10	M	1.64±0.20 a	0.24±0.02 a	16 063.79±1.60 a
鄂莲 10 号 Elian No. 10	CK	1.30±0.16 a	0.20±0.01 a	11 245.65±2.04 b

注:同列数据后不同小写字母表示同一品种不同处理在 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at same cultivars at 0.05 level.

于提高莲藕产量。

### 3 讨论与结论

近年来,莲藕生产成本波动上升,存在机械化水平偏低,人工投入大和土地产出率下降等问题<sup>[6]</sup>。铺底膜种植莲藕较传统栽培方式,具有保水保肥、提高莲藕产量和商品性,有利于实现机械化采收、省工省力等优势,已在多地推广运用<sup>[7-9]</sup>。

土壤养分对莲藕生长发育具有重要作用,藕田铺底膜栽培方式能防渗透,保水保肥,防止肥料流失,提高肥料利用率,减少环境污染<sup>[9]</sup>。本研究发现,铺底膜栽培方式的土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾和速效钾含量均显著高于不铺底膜栽培方式,与何圣米等<sup>[8]</sup>和庞法松等<sup>[9]</sup>的研究结果一致,说明铺底膜的栽培方式有利于保持土壤养分。从水温和土温方面看,本研究发现铺底膜栽培方式与不铺底膜栽培方式的水温和土温均无显著差异,可能是因为底膜上方覆盖底泥,具有一定缓冲作用,对水温和土温影响较小。

莲藕叶片生长对产量的形成具有重要作用<sup>[11-15]</sup>,产量是由生育期内干物质及养分的积累决定的,土壤养分影响作物产量和品质<sup>[12-13]</sup>。从莲藕叶片生长和叶片光合参数方面看,采用铺底膜栽培方式的莲藕叶柄高、叶柄粗、叶片长半径、叶片短半径、净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率均高于不铺底膜栽培方式。从莲藕产量来看,铺底膜栽培方式的主藕质量、主藕节间质量和产量均高于不铺底膜栽培方式,其中鄂莲 6 号的产量显著提高了 109.58%,覃塘莲藕的产量显著提高了

65.28%,鄂莲 10 号的产量显著提高了 42.84%,说明铺底膜种植莲藕有利于提高产量,与陈建明等<sup>[7]</sup>和庞法松等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。因为铺底膜栽培方式具有防渗透的特点,可以提高肥料利用率,保持土壤养分,土壤养分供给充足,促进莲藕叶片生长,具体表现为增加叶柄高、叶柄粗和叶直径,提高了光合能力和净光合速率,促进了光合产物的合成,通过叶片将光合产物向根部输送,增加干物质的积累,进而提升了莲藕产量<sup>[16-22]</sup>。

此外,藕田铺底膜栽培方式可采用机械挖藕,效率更高,省时省工。虽然铺底膜栽培方式中铺底膜成本有所增加,但研究表明藕田铺底膜栽培方式产值每 667 m<sup>2</sup> 可提高 62%,经济效益提高 63.5%<sup>[18-21]</sup>,说明莲藕铺底膜的栽培方式有利于莲藕增产提质,提高经济效益,助农增收。

综上,藕田铺底膜栽培方式具有防渗透、保水保肥的作用,有利于保持土壤养分,提高肥料利用率,促进莲藕叶片生长,提高其光合能力,从而提高莲藕产量和经济效益,是一项值得推广的轻简化高效栽培技术。

### 参考文献

- [1] FU Y R, LIU F L, LI S, et al. Genetic diversity of the wild asian lotus (*Nelumbo nucifera*) from northern China[J]. Horticultural Plant Journal, 2021, 7(5): 488-500.
- [2] 张行言. 中国荷花新品种图志[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [3] ZHU Z H, ZHONG B M, YANG Z H, et al. LC-ESI-QTOF-MS/MS characterization and estimation of the antioxidant potential of phenolic compounds from different parts of the lotus (*Nelumbo nucifera*) seed and rhizome[J]. ACS Omega, 2022, 7(17):

- 14630-14642.
- [4] CHEN G L, ZHU M Z, GUO M Q. Research advances in traditional and modern use of *Nelumbo nucifera*: Phytochemicals, health promoting activities and beyond[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(Suppl.1): 189-209.
- [5] 张尚文, 吴龙墩, 蒋慧萍, 等. 广西莲藕产业发展现状及发展趋势[J]. *长江蔬菜*, 2017(18): 174-177.
- [6] 吴曼, 刘莹, 王哲. 中国莲藕产业发展现状与对策建议[J]. *蔬菜*, 2024(10): 10-16.
- [7] 陈建明, 马良浩, 张珏锋, 等. 藕塘铺底膜高效栽培技术与示范[J]. *浙江农业科学*, 2016, 57(10): 1677-1679.
- [8] 何圣米, 马良浩. 藕田底膜覆盖高效种植模式[J]. *长江蔬菜*, 2017(15): 37-38.
- [9] 庞法松, 施鸿鑫, 马良浩, 等. 藕池专用膜应用对浅水藕产量和商品性状的影响[J]. *长江蔬菜*, 2019(8): 38-40.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 丁嘉仪, 张子怡, 邓康明, 等. 不同缓释氮肥施用量对莲藕产量和淀粉品质的影响[J]. *植物生理学报*, 2023, 59(9): 1793-1802.
- [12] 张长伟, 徐文娟, 王玉华, 等. 有机、无机肥对莲藕生长和品质的影响及施肥效益分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(7): 261-264.
- [13] 李通, 佟静, 王丽萍, 等. 不同缓释肥对莲藕光合特性、产量及品质的影响[J]. *中国瓜菜*, 2021, 34(5): 76-81.
- [14] 熊桂云, 刘冬碧, 陈防, 等. 莲藕氮磷钾锌肥配合施用效应研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2009(1): 31-34.
- [15] 尹静静, 吴小宾, 徐国鑫, 等. 莲藕干物质积累与氮磷钾吸收分配特征[J]. *北方园艺*, 2020(6): 1-8.
- [16] 张若妍, 钟宇, 邓云, 等. 不同种植条件莲藕的真空包装品质综合评价[J]. *包装工程*, 2024, 45(3): 81-90.
- [17] 李广浩, 刘娟, 董树亭, 等. 密植与氮肥用量对不同耐密型夏玉米品种产量及氮素利用效率的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(12): 2247-2258.
- [18] 王秀英, 房磊, 戴亮. 不同肥料配施对玉竹光合特性及品质的影响[J]. *北方园艺*, 2019(18): 128-133.
- [19] 马林杰, 张诚信, 袁秦, 等. 藕虾共作模式下缓释氮肥减氮对莲藕产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*. 2024, 45(6): 20-27.
- [20] 谢旭东, 王磊, 刘金文, 等. 过磷酸钙和鸡粪配施对沙地莲藕生长及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(14): 156-159.
- [21] 焦婷. 增施有机肥对莲藕品质的影响: 以安徽省颍上县为例[J]. *种子科技*, 2023, 41(10): 22-24.
- [22] 王向军, 张孟玉, 姚光伟, 等. 水稻秸秆炭对土壤性质和莲藕植株生长的影响[J]. *浙江科技学院学报*, 2023, 35(5): 448-456.