

人工模拟连阴雨渍害对冬小麦生长影响及恢复补救效应研究

阮书江¹, 周友根¹, 孙东海², 马明清², 邹玉国³ (1. 江苏省兴化市农业技术推广中心, 江苏兴化 225700; 2. 江苏省兴化市农业局安丰农业技术推广站, 江苏兴化 225766; 3. 江苏省兴化市西郊镇农业服务中心, 江苏兴化 225774)

摘要 [目的]研究渍害对小麦生长的影响,探讨补救措施。[方法]采取渍害发生期(W)、恢复补救措施(R)2因子裂区设计,分析渍害发生期对小麦产量和产量构成的影响,研究不同补救措施的恢复效应。[结果]拔节孕穗期是小麦涝渍灾害最敏感阶段,也是补救措施恢复效果最佳时段;稻茬小麦耐涝渍性能较强,连续滞水7 d以上不会绝收;稻茬小麦涝渍后恢复能力较强,连阴雨渍害拔节期恢复指数最高可达36.00,孕穗期最高可达29.79,扬花灌浆期最高可达32.15。[结论]该研究可为小麦生产提供参考。

关键词 渍害;冬小麦;生长;补救措施

中图分类号 S512.1⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)25-0015-04

Effect of Artificial Simulation of Continuous Rain Waterlogging Damage on Winter Wheat Growth and Its Remedial Measures

RUAN Shu-jiang¹, ZHOU You-gen¹, SUN Dong-hai² et al (1. Xinghua Agriculture Technology and Popularization Center, Xinghua, Jiangsu 225700; 2. Anfeng Agriculture Technology and Extension Station, Agricultural Bureau of Xinghua, Xinghua, Jiangsu 225766)

Abstract [Objective] Effect of waterlogging damage on wheat growth was studied, remedial measures were discussed. [Method] Split plot design with remedial measures as main plots and occurrence period of waterlogging damage as subplots was adopted to analyze effect of occurrence period of waterlogging damage on wheat yield and yield components, explored recovery effect of different remedial measures. [Result] Wheat was the most sensitive to waterlogging damage in jointing-booting stage, and recovery effect of different remedial measures was optimal in the period. Waterlogging resistance of wheat was relatively strong, wheat can obtain yield after waterlogging 7 days continuously. Recoverability of wheat was relatively strong after waterlogging, maximum restitution index was 36.00, 29.79, 32.15 in jointing stage, booting stage, grain-filling stage respectively when it rained continuously. [Conclusion] The research can offer reference for wheat production.

Key words Waterlogging damage; Winter wheat; Growth; Remedial measure

高标准的小麦群体质量是一切防灾减灾技术的基础^[1]。提高稻茬小麦群体质量是增强小麦抗渍与渍后恢复能力的主要技术途径,调优根叶系统、根土系统、激素系统,健壮个体、协调群体,促进根叶、根土良性互作,培育健壮根系,增强小麦植株自身防渍性能和渍后恢复能力^[2-3]。围绕这一总体思路,生产中应侧重于预防与控制为主,补救为辅。通过广泛收集相关技术文献,开展生产实践调研,在兴化市连续3年进行了田间模拟试验、关键技术示范熟化等技术验证完善工作,以指导冬小麦的生产。

1 材料与方

1.1 试验地概况 试验在兴化市海南镇蔡高村进行,土壤类型为水稻土类脱潜型亚类黏泥土属,有机质 26.20 g/kg,全氮 1.78 g/kg,有效磷 9.25 mg/kg,速效钾 124.50 mg/kg, pH 6.85,土壤肥力中等偏上。

1.2 试验材料 供试小麦品种为宁麦 13,尿素选用中化牌尿素(总氮量 \geq 46.4%),复合肥选用西洋牌 45% 氮磷钾复合肥(15-15-15),生长调节剂选用德国阿格福莱农林环境生物技术股份公司提供的碧护(0.136% 赤·吲·芸苔可湿性粉剂)。

1.3 试验设计 采取渍害发生期(W)、恢复补救措施(R)2因子裂区设计。渍害发生期(W)为主区,设 W₁(拔节期滞水 7 d)、W₂(孕穗期滞水 7 d)、W₃(扬花灌浆期滞水 7 d)3 个水平,每期滞水均人工搭建遮阳网,并用插地式喷灌设备模拟

连阴雨天气。恢复补救措施(R)为裂区,设 R₁(补施尿素 75 kg/hm²)、R₂(补施 45% 复合肥 225 kg/hm²)、R₃(喷施促根调节剂)、R₀(不采取补救措施对照)共 4 个水平,12 个处理,大区设计,不设重复,另设 CK 对照(灌排健全,正常管理)(图 1)。

2 结果与分析

2.1 主区处理与裂区处理的方差分析 试验表明,主区(W)处理间产量差异均达极显著水平,连阴雨涝渍灾害发生越早,则产量损失越大。从处理措施的恢复效应看,虽然在各生育期间有差异,但补施复合肥的综合补救效应最好,其次为尿素,再次为促根调节剂,差异均达极显著水平(表 1)。

2.2 不同生育期滞水的补救效果分析 从表 2 可以看出,在拔节期(W₁),以 R₂ 对产量主要构成因子的恢复能力最强,最终对产量的恢复指数达 36.00,但产量损失仍达 28.65%。其次是 R₁ 为 25.00, R₃ 仅为 15.00,产量损失分别达 33.31% 和 37.97%。

从表 3 可以看出,在孕穗期(W₂),仍以 R₂ 的恢复效应最强为 29.79,但恢复指数较拔节期有所下降,但产量损失则有所减轻,减产 30.56%,其次是 R₁、R₃、R₀,产量损失分别为 32.52%、36.72% 和 43.52%。说明随生育期后移,补救恢复能力减弱,但渍害损失有所缩小,恢复指数平均由拔节期 19.00 下降至 17.68,产量损失由 36.14% 下降至 35.83%。

从表 4 可以看出,在扬花灌浆期(W₃),R₃ 的恢复指数最高为 32.15,其次为 R₂,再次为 R₁,平均恢复指数则为 19.34,均高于拔节和孕穗期,而产量损失则下降至 25.39%。证明随生育期推迟,渍害有所减轻,主要是穗数已经定型,对粒数的影响最大,其次为粒重。

试验证明,拔节期对渍害最为敏感,主要是对穗数影响较大^[4];孕穗期的每穗粒数对渍害较为敏感,粒数降幅较大;

基金项目 农业部公益性行业科研专项主要农作物涝渍灾害防控关键技术研究与示范(2012203032)。

作者简介 阮书江(1967—),男,江苏兴化人,高级农艺师,从事作物栽培方面的研究。

收稿日期 2017-06-26

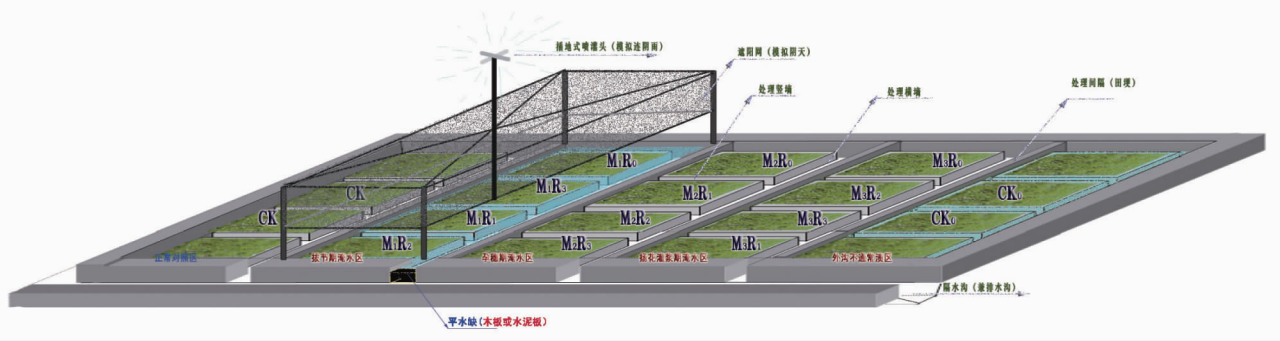


图1 试验处理

Fig.1 Test treatment

表1 裂区试验主副处理产量差异方差分析

Table 1 Variance analysis of main treatment and subplots in split plot test

主副区 Main and auxiliary area	处理 Treatment	平均产量 Average yield kg/hm ²	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
主区 The main area	CK	8 962.50	a	A
	W ₃	6 534.75	b	B
	W ₂	5 815.65	c	C
	W ₁	5 789.70	d	C
裂区 The crack area	R ₂	6 483.90	a	A
	R ₁	6 240.45	b	B
	R ₃	6 082.05	c	C
	R ₀	5 380.20	d	D

表2 W₁ 滞水处理对产量构成影响及不同补救措施的恢复效应Table 2 Effect of W₁ continuous waterlogging treatment on yield components and recovery effect of different remedial measures

裂区 Sub-plots	穗数 Spike number			穗粒数 Grain number per spike			千粒重 1 000-grain weight			产量 Yield		
	实测值 Measured value 万穗/hm ²	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value 粒/穗	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value//g	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value kg/hm ²	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index
R ₀	444.00	-17.55	0.00	30.40	-23.62	0.00	37.20	-12.06	0.00	5 021.10 dD	-44.62	0.00
R ₃	462.00	-14.21	19.05	32.20	-19.10	19.15	37.80	-10.64	11.76	5 623.35 cC	-37.97	15.00
R ₂	490.50	-8.91	49.21	33.30	-16.33	30.85	39.60	-6.38	47.06	6 468.15 aA	-28.65	36.00
R ₁	481.50	-10.58	39.68	32.70	-17.84	24.47	38.40	-9.22	23.53	6 046.05 bB	-33.31	25.00
平均 Average	469.50	-12.81	26.98	32.15	-19.22	18.62	38.25	-9.57	20.59	5 789.67	-36.14	19.00
CK ₁	538.50	—	100.00	39.80	—	100.00	42.30	—	100	9 065.85	—	100.00

表3 W₂ 滞水处理对产量构成影响及不同补救措施的恢复效应Table 3 Effect of W₂ continuous waterlogging treatment on yield components and recovery effect of different remedial measures

裂区 Sub-plots	穗数 Spike number			穗粒数 Grain number per spike			千粒重 1 000-grain weight			产量 Yield		
	实测值 Measured value 万穗/hm ²	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value 粒/穗	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value//g	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value kg/hm ²	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index
R ₀	501.00	-3.19	0.00	28.30	-31.81	0.00	36.10	-14.45	0.00	5 118.30 dD	-43.52	0.00
R ₃	508.50	-1.74	45.45	30.40	-26.75	15.91	37.10	-12.09	16.39	5 735.10 cC	-36.72	15.63
R ₂	513.00	-0.87	72.73	31.70	-23.61	25.76	38.70	-8.29	42.62	6 293.40 aA	-30.56	29.79
R ₁	511.50	-1.16	63.64	31.30	-24.58	22.73	38.20	-9.48	34.43	6 115.80 bB	-32.52	25.29
平均 Average	508.50	-1.74	45.46	30.43	-26.69	16.10	37.53	-11.08	23.36	5 815.65	-35.83	17.68
CK ₂	517.50	—	100.00	41.50	—	100.00	42.20	—	100.00	9 063.00	—	100.00

从表6可知,如果采取R₁补救措施,则平均产量损失下降至30.37%,减少9.60个百分点。在W₁、W₂、W₃条件下,R₁

扬花灌浆期对渍害敏感性有所下降,但粒数与粒重仍对渍害较为敏感,如不补救仍会造成较大程度下降。

试验主区的3个不同时期,各补救处理的恢复效应差异均达极显著水平,因此,生产上优选最佳补救措施,对涝渍灾害防控具有重要意义。

2.3 不同滞水期各补救恢复效应 在小麦关键生育期连续滞水,如不采取补救措施,则平均减产幅度在39.97%以上,其中以拔节期渍害减幅最大达43.98%。从表5可以看出,随生育期后移,渍害危害损失呈递减趋势,但产量损失仍较大,说明渍害对小麦危害是严重的。

处理较R₀减少产量损失分别为11.44百分点、11.13百分点、6.23百分点,证明补救措施越早,则效果越好。

表 4 W_3 滞水处理对产量构成影响及不同补救措施的恢复效应Table 4 Effect of W_3 continuous waterlogging treatment on yield components and recovery effect of different remedial measures

裂区 Sub-plots	穗数 Spike number			穗粒数 Grain number per spike			千粒重 1 000-grain weight			产量 Yield		
	实测值 Measured value 万穗/hm ²	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value 粒/穗	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value//g	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index	实测值 Measured value kg/hm ²	增减 Compared with CK %	恢复指数 Restitution index
R ₀	519.00	-0.29	—	32.3	-18.23	0.00	35.8	-15.96	0.00	6 001.35 dD	-31.48	0.00
R ₃	535.50	2.88	—	34.3	-13.16	27.78	37.5	-11.97	25.00	6 887.85 aA	-21.36	32.15
R ₂	537.00	3.17	—	33.4	-15.44	15.28	37.3	-12.44	22.06	6 690.00 bB	-23.62	24.98
R ₁	534.00	2.59	—	33.2	-15.95	12.50	37.0	-13.15	17.65	6 559.65 cC	-25.10	20.25
平均 Average	531.38	2.09	—	33.3	-15.70	13.89	36.9	-13.38	16.18	6 534.71	-25.39	19.34
CK ₃	520.50	—	—	39.5	—	100.00	42.6	—	100.00	8 758.50	—	100.00

表 5 不同滞水期的 R₀ 补救恢复效应Table 5 Recovery effect of R₀ treatment in perched water period

主区 Main plots	有效穗 Effective spike		穗粒数 Grain number per spike		千粒重 1 000-grain weight		理论产量 Theoretical yield	
	实测值 Measured value 万穗/hm ²	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value 粒/穗	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value//g	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value kg/hm ²	增减 Compared with CK//%
W ₁	444.00	-15.51	30.40	-24.50	37.20	-12.20	5 021.10 cC	-43.98
W ₂	501.00	-4.66	28.30	-29.72	36.10	-14.79	5 118.30 bB	-42.89
W ₃	519.00	-1.24	32.30	-19.78	35.80	-15.50	6 001.35 aA	-33.04
平均 Average	488.00	-7.14	30.33	-24.67	36.37	-14.16	5 380.25	-39.97
CK	525.45	—	40.27	—	42.37	—	8 962.50	—

表 6 不同滞水期的 R₁ 补救恢复效应Table 6 Recovery effect of R₁ treatment in perched water period

主区 Main plots	有效穗 Effective spike		穗粒数 Grain number per spike		千粒重 1 000-grain weight		理论产量 Theoretical yield	
	实测值 Measured value 万穗/hm ²	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value 粒/穗	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value//g	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value kg/hm ²	增减 Compared with CK//%
W ₁	481.50	-8.37	32.70	-18.79	38.40	-9.36	6 046.05 cC	-32.54
W ₂	511.50	-2.66	31.30	-22.27	38.20	-9.83	6 115.80 bB	-31.76
W ₃	534.00	1.62	33.20	-17.55	37.00	-12.67	6 559.65 aA	-26.81
平均 Average	508.95	-3.14	32.40	-19.54	37.87	-10.62	6 240.50	-30.37
CK	525.45	—	40.27	—	42.37	—	8 962.50	—

从表 7 可以看出, R₂ 补救效果最好, 平均减产幅度下降至 27.66%, 较 R₀ 产量损失减少 12.31 个百分点。在 W₁、W₂、W₃ 滞水处理下, 较 R₀ 挽回产量损失分别增加 16.15 百分

点、13.11 百分点、7.69 百分点, 同时又一次验证了补救措施越早效果越好的结论。

表 7 不同滞水期的 R₂ 补救恢复效应Table 7 Recovery effect of R₂ treatment in perched water period

主区 Main plots	有效穗 Effective spike		穗粒数 Grain number per spike		千粒重 1 000-grain weight		理论产量 Theoretical yield	
	实测值 Measured value 万穗/hm ²	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value 粒/穗	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value//g	增减 Compared with CK//%	实测值 Measured value kg/hm ²	增减 Compared with CK//%
W ₁	490.50	-6.66	33.30	-17.30	39.60	-6.53	6 468.15 bB	-27.83
W ₂	513.00	-2.38	31.70	-21.27	38.70	-8.65	6 293.40 cC	-29.78
W ₃	537.00	2.19	33.40	-17.05	37.30	-11.96	6 690.00 aA	-25.35
平均 Average	513.50	-2.28	32.80	-18.54	38.53	-9.05	6 483.85	-27.66
CK	525.45	—	40.27	—	42.37	—	8 962.50	—

从表 8 可以看出, R₃ 的补救效果最差, 平均挽回损失 7.83 百分点。在 W₁、W₂、W₃ 滞水处理下, 较 R₀ 挽回产量损

失分别增加 6.72 百分点、6.88 百分点、9.89 百分点, 说明 R₃ 处理对后期渍害补救效果较好, 优于 R₁、R₂ 处理。

拔节孕穗期是小麦渍害的最敏感阶段,但也是恢复能力最强的阶段^[5]。对不同补救措施效应进行方差分析可以得出:无论采取何种补救措施,不同滞水期间的产量均达到了显著差异,说明滞水越早,危害越大,证明拔节孕穗期是小麦

渍害的最敏感阶段,但也是恢复能力最强的阶段。同时,各试验处理均无绝收现象,在3期均连续滞水无沟系处理条件下,小麦单产虽急剧下降至2 850 kg/hm²以下,但未达绝收程度,证明小麦耐渍性能较强。

表8 不同滞水期的R₃补救恢复效应Table 8 Recovery effect of R₃ treatment in perched water period

主区 Main plots	有效穗 Effective spike		穗粒数 Grain number per spike		千粒重 1 000-grain weight		理论产量 Theoretical yield	
	实测值 Measured value	增减 Compared with	实测值 Measured value	增减 Compared with	实测值 Measured value	增减 Compared with	实测值 Measured value	增减 Compared with
	万穗/hm ²	CK//%	粒/穗	CK//%	g	CK//%	kg/hm ²	CK//%
W ₁	462.00	-12.08	32.20	-20.03	37.80	-10.78	5 623.35 cC	-37.26
W ₂	508.50	-3.24	30.40	-24.50	37.10	-12.43	5 735.10 bB	-36.01
W ₃	535.50	1.90	34.30	-14.82	37.50	-11.49	6 887.85 aA	-23.15
平均 Average	502.00	-4.47	32.30	-19.78	37.47	-11.57	6 082.10	-32.14
CK	525.45	0	40.27	0	42.37	0	8 962.50	0

3 结论与讨论

试验及生产实践调研表明:①一次降水超过15 mm可致浅洼平原耕层滞水抬升至危害高度;②拔节孕穗期是小麦涝渍灾害最敏感阶段,也是补救措施恢复效果最佳时段;③稻茬小麦耐涝渍性能较强,连续滞水7 d以上不会绝收,耐渍极限天数可在15 d以上;④稻茬小麦涝渍后恢复能力较强,连阴雨渍害拔节期恢复指数最高可达36.00,孕穗期最高可达29.79,扬花灌浆期最高可达32.15。

该试验土壤类型为里下河平原地区的水稻土,常年以稻

麦两熟制为主,其他地区尚待进一步研究。

参考文献

(上接第2页)

[3] 宋志伟,王秋旭,李立欣,等. 斜生栅藻培养基优化及菌藻共生体系处理污水[J]. 黑龙江科技大学学报,2015,25(3):274-279.

[4] 季祥,成杰,廖利民,等. 1株斜生栅藻扩大培养条件的优化[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):303-305.

[5] 凌善锋,蔡福欢,刘彦文,等. 3.5 mg/L水杨酸诱导斜生栅藻积累虾青素的分子机理[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):287-290.

[6] 殷燕,张运林,王明珠,等. 光照强度对铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)和斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)生长及吸收特性的影响[J]. 湖泊科学,2012,24(5):755-764.

[7] 郭锁莲. 转基因絮凝斜生栅藻的构建和自絮凝斜生栅藻细胞絮凝的研究[D]. 大连:大连理工大学,2013:105-106.

[8] 季祥,王金荣,王新平,等. 富油能源微藻斜生栅藻异养培养条件的优化[J]. 渔业现代化,2011,38(5):1-6.

[9] 张玮玮,王家官. 微量元素钴对脆杆藻和斜生栅藻增殖的影响[J]. 山西农业科学,2012,40(3):207-211.

[10] 陈雷. 重金属胁迫对斜生栅藻和铜绿微囊藻生长及叶绿素荧光特性研究[D]. 南京:南京农业大学,2009:15-28.

[11] 李静静. 重金属元素对斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)生长及叶绿素荧光特性的影响[D]. 长沙:湖南农业大学,2011:41-42.

[12] 凌善锋. 产虾青素的斜生栅藻藻种的培育[J]. 湖北农业科学,2014,53(2):283-284.

[13] MANDAL S, MALLICK N. Microalga *Scenedesmus obliquus* as a potential source for biodiesel production[J]. Applied microbiology and biotechnology, 2009,84(2):281-291.

[14] GREENWELL H C, LAURENS L M L, SHIELDS R J, et al. Placing microalgae on the biofuels priority list: A review of the technological challenges[J]. Journal of the royal society interface, 2010,7(46):703-726.

[15] 朱未超,刘滨扬,陈本亮,等. 3种药物及个人护理品对斜生栅藻生长及光系统II的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版),2014,53(1):121-126,134.

[16] HO S H, CHEN C Y, YE H K L, et al. Characterization of photosynthetic carbon dioxide fixation ability of indigenous *Scenedesmus obliquus* isolates[J]. Biochemical engineering journal, 2010,53(1):57-62.

[17] LI X, HU H Y, YANG J. Lipid accumulation and nutrient removal proper-

ties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus* sp. LX1, growing in secondary effluent[J]. New biotechnology, 2010,27(1):59-63.

[18] 张玉琳,王应军,李伟雨,等. 固定化斜生栅藻净化畜禽废水中氨氮和磷的影响因素[J]. 环境工程学报,2015,9(5):2253-2258.

[19] 张莹,李宝珍,屈建航,等. 斜生栅藻对低浓度无机磷去除和生长情况的研究[J]. 环境科学,2010,31(11):2661-2665.

[20] 唐霞,何丽霞,刘瞳,等. 斜生栅藻的无菌化培养及其在原液降解中的应用研究[J]. 环境工程学报,2010,4(5):1079-1083.

[21] 刘益浩. 斜生栅藻与重金属的相互作用研究[D]. 南京:河海大学,2007:46-52.

[22] BAHAR M M, MEGHARAJ M, NAIDU R. Bioremediation of arsenic-contaminated water: Recent advances and future prospects[J]. Water, air, & soil pollution, 2013,224(12):1722.

[23] JIE N, ZHANG Q, YAO G. Study on the adsorption of vanadium (V) with *Scenedesmus obliquus*[J]. Bulletin of environmental contamination & toxicology, 2001,67(3):431-437.

[24] DA SILVA T L, REIS A, MEDEIROS R, et al. Oil production towards biofuel from autotrophic microalgae semicontinuous cultivations monitored by flow cytometry[J]. Applied biochemistry and biotechnology, 2009,159(2):568-578.

[25] XIAO M Z, SHIN H J, DONG Q H. Advances in cultivation and processing techniques for microalgal biodiesel: A review[J]. Korean journal of chemical engineering, 2013,30(12):2119-2126.

[26] BREUER G, LAMERS P P, MARTENS D E, et al. The impact of nitrogen starvation on the dynamics of triacylglycerol accumulation in nine microalgal strains[J]. Bioresource technology, 2012,124:217-226.

[27] 从威,王瑞民,颜成虎,等. 一种提高斜生栅藻生物量和油脂质量的共生菌体系及其应用:CN 105296376A[P]. 2016-02-03.

[28] MIRANDA J R, PASSARINHO P C, GOUVEIA L. Pre-treatment optimization of *Scenedesmus obliquus* microalga for bioethanol production[J]. Bioresource technology, 2012,104:342-348.

[29] CHOI J A, HWANG J H, DEMPSEY B A, et al. Enhancement of fermentative bioenergy (ethanol/hydrogen) production using ultrasonication of *Scenedesmus obliquus* YSW15 cultivated in swine wastewater effluent[J]. Energy & environmental science, 2011,4(9):3513-3520.