

## 光合细菌对小麦生长和光合功能的影响

高炜<sup>1Δ</sup> 杨三维<sup>1Δ</sup> 李世平<sup>1</sup> 张强<sup>2</sup> 田伟<sup>1</sup> 郑军<sup>1\*</sup> 赵春贵<sup>2\*</sup> 张肇铭<sup>2</sup>

(1. 山西省农业科学院小麦研究所 山西 临汾 041000)

(2. 山西大学 生命科学学院 山西 太原 030006)

**摘要:**【目的】探明光合细菌对小麦生长、产量及光合功能的影响。【方法】以尧麦 16 为材料, 在不同生长期施用光合细菌, 研究光合细菌对小麦生长、产量及光合功能的影响。【结果】光合细菌培养液的不同成分可提高小麦旗叶 SPAD 值、光合速率及干物质积累。拔节期施用后, 混合菌液对叶片 SPAD 含量促进作用最大, 较不施用对照提高 33.6%, 小麦干物质积累较对照增加 25.7%, 单株籽粒重量增效为 14.3%。单菌株实验处理中沼泽红假单胞菌促进作用最强, 干物质积累和单株籽粒重量较培养基稀释液对照增效均为 13.1%。不同施用时期的结果表明沼泽红假单胞菌对灌浆期和拔节期小麦促进效应最强, 其中静息细胞可延长叶片功能期, 使光合产物持续增加; 无细胞培养液通过促进小麦营养生长, 进而提高小麦产量。【结论】光合细菌可促进小麦生长, 有效提高小麦生育过程中相关光合功能; 施用时期应为小麦拔节期和灌浆期; 光合细菌对小麦生长和产量促进作用是静息细胞和代谢活性物质综合作用的结果。

**关键词:** 光合细菌, 小麦生长, 光合功能

## Effects of photosynthetic bacteria on growth and photosynthetic function in wheat

GAO Wei<sup>1Δ</sup> YANG San-Wei<sup>1Δ</sup> LI Shi-Ping<sup>1</sup> ZHANG Qiang<sup>2</sup> TIAN Wei<sup>1</sup> ZHENG Jun<sup>1\*</sup>  
ZHAO Chun-Gui<sup>2\*</sup> ZHANG Zhao-Ming<sup>2</sup>

(1. Wheat Research Institute Agricultural Sciences of Shanxi, Linfen, Shanxi 041000, China)

(2. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

**Abstract:** [Objective] The effects of photosynthetic bacteria on growth and photosynthetic function of wheat was researched. [Methods] Yaomai16 was employed as the research material of this research. Different kinds of photosynthetic bacteria were spread during different growth phase of wheat in order to investigate the effect of photosynthetic bacteria to the wheat in terms of growth, productivity and photosynthetic function. [Results] Different composition of culture medium of photosynthetic bacteria culture can improve the SPAD value of flag leaves, as well as photosynthetic

基金项目: 山西省青年科学基金(No. 2011021031-3); 山西省农业科学院科技攻关项目(No. 2013gg30)

\*通讯作者: 郑军: Tel: 86-351-7123157; ✉: zhengjun@sxagri.ac.cn

赵春贵: Tel: 86-592-6166178; ✉: chungui@hqu.edu.cn

Δ并列第一作者

收稿日期: 2013-08-01; 接受日期: 2013-10-22; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2013-10-30

reaction speed and dry-weight accumulation. After fertilized with photosynthetic bacteria during the elongation phase, the mixed bacteria has the largest promoting effect on the amount of SPAD in leaves, which is 33.6% higher than control groups without treatment of photosynthetic bacteria. Moreover, the dry weight accumulation and the seed weight of individual plant are increased for 25.7% and 14.3% respectively than control groups. *Rhodopseudomonas palustris* has the largest promoting effect which increases both the dry weight accumulation and the seed weight of individual plant for 13.1% respectively comparing to the diluted medium controls. The results from the treatment at different period indicate that *Rhodopseudomonas palustris* culture medium has the strongest promoting effect in jointing period and milk filling period. Additionally, the resting cell can extend the functional period of leaves and further continuously increase the photosynthetic product, the culture medium without cells can increase the productivity of wheat through improving the vegetative growth of wheat. **[Conclusion]** The photosynthetic bacteria can promote the growth and enhance the photosynthetic related function effectively during the developmental process of wheat. Jointing period and milk filling period are suggested to be the two of the best spread period. The increase of growth and productivity of wheat by photosynthetic bacteria is the integrated consequence of interaction between resting cell and active metabolites.

**Keywords:** Photosynthetic bacteria, Wheat growth, Photosynthetic function

小麦作为我国主要粮食作物,在国民经济发展中具有举足轻重的作用,如何提高我国小麦的产量及品质,是目前农业生产的热点。当前我国小麦生产处于爬坡期,常规提高小麦产量手段的潜力已经基本挖掘。因此,新的生物技术的出现和应用将成为进一步增产的希望所在。影响小麦产量的实质是光合作用,小麦对日光能的最高利用效率为 2.4%,全生育期平均 0.7%–1.2%<sup>[1]</sup>。因此,最大限度的群体光能截获与优化,是产量进一步提高现实、有效的增产途径之一。可见,提高小麦的光合效率,增加小麦产量,具有重要的理论和实际意义。

光合细菌(Photosynthetic bacteria, PSB)是微生物中一类可利用太阳能生长繁殖的特殊生物类群。作物喷施后,通过诱导作物本身的防卫系统以及对作物叶面、根际微生态环境的调节,从而提高叶绿素含量,增强光合作用强度,促进作物生长,改善作物品质以及提高农作物抗病毒活性<sup>[2-3]</sup>。已有文献报道 PSB 可促进水稻和玉米等粮食作物的产量相关性状发育,使产量得到显著提高<sup>[4]</sup>;喷施 PSB 也可改善新型烟草成分和品质<sup>[3]</sup>。此外,PSB 在蔬菜种植以及农残降解等方面也取得了良好的效果<sup>[5]</sup>。可见,PSB 的开发和应用对于农业可持续发展具有重要的意义。

PSB 对农作物生长以及果实品质有显著的促进和改善作用,但有效成分和相关调控机制等一些基础性问题几乎无人问津,对于不同作物的作用机理和方式尚未形成一致的看法。农业上对 PSB 的应用研究在我国已经不同程度地开展起来,应用于水稻、玉米、卷心菜、食用菌、韭菜及烟草等作物栽培上已经表现出良好的应用效果和前景<sup>[5]</sup>。在小麦应用研究领域,胡青平等在实验室水平研究了 PSB 浸种对小麦萌发的影响,发现稀释液提高了小麦萌发过程中可溶性蛋白和还原性糖含量( $P<0.05$ ),并对细胞膜具有一定的保护和修复作用,从而促进其萌发,但所用菌株未明确说明<sup>[6]</sup>。马文丽和郭凌等报道球形红细菌可明显降低水培幼苗的重金属积累<sup>[7-8]</sup>。此外,王春虎等报道了不同浓度光合菌肥对小麦生长和产量的影响,但施用菌种配方为芽孢杆菌、乳酸杆菌和根霉菌的混合菌<sup>[9]</sup>。且相关报道大都在实验室进行,改善小麦生长、产量及品质等生产水平的应用研究报道较少。PSB 可促进小麦生长,但究竟是何种成分起作用,对小麦哪些生理性状有促进作用,目前尚不明确。我国对 PSB 的研究有较长历史,目前得到开发应用的主要有球形红细菌、沼泽红假单胞菌等几个种属<sup>[3-5]</sup>。为了挖掘可用于小麦农业生产的 PSB 资源,

拓展 PSB 的应用范围,丰富和完善 PSB 促进植物生长的机制和原理,本文以应用较为广泛的球形红细菌(*Rhodobacter sphaeroides*)、沼泽红假单胞菌(*Rhodopseudomonas palustris*)、红螺菌(*Rhodospirillum rubrum*)及沼泽红假单胞菌培养液的不同组分为材料,大田小区和盆栽实验条件下对小麦施用,测定小麦相关生理和光合指标,研究其对小麦生长、产量及光合功能的影响,为 PSB 的进一步应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 PSB 菌株

3 株 PSB 模式菌株:球形红细菌(*Rhodobacter sphaeroides*) ATCC17023、沼泽红假单胞菌(*Rhodopseudomonas palustris*) ATCC17001 和红螺菌(*Rhodospirillum rubrum*) ATCC11170 和混合菌肥由山西大学光合细菌研究室提供。

培养基采用稍加改动的 Ormerod 培养基<sup>[6]</sup>,厌氧光照培养: $E=2000\text{ lx}$ ,  $Q=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,培养 7 d 后,菌液  $OD_{600}$  大于 1.5,浓度可达  $10^9$  个/mL 以上。

### 1.2 PSB 菌液处理及施用方法

液体培养物经  $6\,000\text{ r/min}$  离心 10 min 收集上清和菌体细胞;菌体洗涤后加入原体积无菌水,于 600 nm 处测定菌液  $OD$  值,血小板计数器统计细菌数。离心去掉菌体后,上清为含有代谢物质的无细胞培养液,无菌水稀释 50 倍,  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  保存。静息细胞的制备:收集到的菌体采用生理盐水洗涤 2 次,间隔 3 h,  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  保存备用。

喷施方法和相应浓度参照文献[10]进行,混合菌液 50 倍稀释,细菌浓度约为  $4\times 10^8$  个/mL,采用无菌水将静息细胞稀释至浓度为  $4\times 10^8$  个/mL;对照的空白培养基稀释 50 倍;喷施量均为  $150\text{ mL/m}^2$ 。

### 1.3 实验设计

沼泽红假单胞菌液不同成分对不同生长时期小麦产量的影响采用盆栽小麦进行,其余实验采用小区进行。盆栽试验播种时间为 10 月 30 日,基肥

在播种前施入,每盆播种 10 粒,出苗后定 3 株幼苗。5 个实验处理分别为沼泽红假单胞菌静息细胞、无细胞培养液、沼泽红假单胞菌液、培养基稀释液以及不施用空白对照;静息细胞实验处理以不施用组的为对照,无细胞培养液和菌液处理的对照为培养基稀释液。施用时期为全生育期施用和 4 个生长时期单独施用。每个处理设 5 个重复。小麦蜡熟后,每个处理单独收割,脱粒后烘干称重。

小区试验地为山西省农业科学院小麦研究所内试验田,壤质潮土,土壤肥力均匀,保水保肥性能一般,灌溉条件良好的试验地。试验采用二因素随机区组试验,处理分别是:球形红细菌、红螺菌、沼泽红假单胞菌、混合菌肥、培养基稀释液、沼泽红假单胞菌静息细胞和沼泽红假单胞菌无细胞培养液;施用时期分别为苗期、分蘖期、拔节期、灌浆期和全生育期施用;小区设置 3 次重复,小区面积  $2\text{ m}\times 5\text{ m}$ , 尧麦 16 为供试材料,由本所提供,田间管理按一般麦田进行。

### 1.4 叶绿素含量测定

采用日本 SPAD-502 型叶绿素计测定叶片的 SPAD,参照文献[11]进行,每个处理分别于不同时期测定小麦叶片 SPAD 值,取平均值。

### 1.5 光合速率的测定

采用美国 Li-6400 测定不同生长时期小麦倒二叶的光合速率,在上午 8:30–11:30 测定,重复 5 次,参照文献[12]进行。

### 1.6 干物质积累

小麦幼苗期、分蘖期、拔节期和灌浆期各施用一次不同的 PSB 菌液,成熟后各小区分别取样 10 株,  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干至恒重,分别称干重。经济指数(收获指数)为小麦成熟后籽粒与地上部分生物产量之比。

### 1.7 籽粒灌浆速率测定

小麦扬花后喷施沼泽红假单胞菌的静息细胞,1 周后每 3 天取样一次,每份材料取 5 穗,于  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  杀青 15 min,  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘至恒重,计算和统计千粒重。

1.8 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 10.0 软件进行数据处理及作图。

2 结果与分析

2.1 不同 PSB 对小麦 SPAD 的影响

叶绿素是光合作用中能量转化的物质基础,是 PSB 影响小麦生长的重要参考指标。因此,选择对拔节后小麦施用球形红细菌、红螺菌、沼泽红假单胞菌、混合菌肥和空培养基稀释液,研究不同 PSB 对小麦 SPAD 的影响,实验结果见图 1。进入拔节期小麦施用不同菌株的菌液后,植株粗壮,叶片深绿。经测定叶片 SPAD 值与不施用对照相比发生明显变化,从第 3 天开始,不同处理的叶片 SPAD 值均有一定的提高。喷施混合菌液的处理最高,相对含量为 133.6%;单菌株实验处理中沼泽红假单胞菌最高,相对含量为 123.7%,剩余依次为球形红细菌 110.2%、红螺菌 108.8%和稀释培养基为 108.6%。菌液施用后 10 d 达到最大值,培养基在 6 d 时影响最大,施用 15 d 后不同处理的 SPAD 差异趋于变小。实验结果表明:PSB 在一定时期内可明显提高小麦叶片中叶绿素含量,其中沼泽红假单胞菌的效应相对最大。

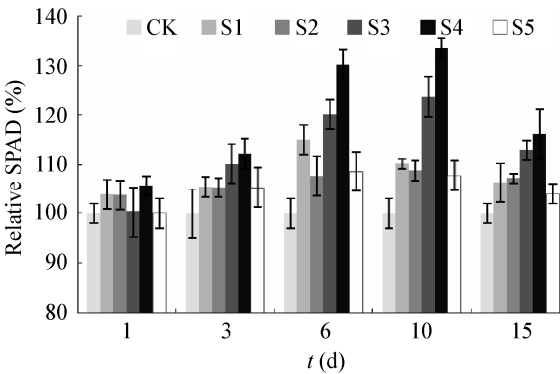


图 1 PSB 对小麦叶片 SPAD 值的影响  
Figure 1 Effects of PSB application on SPAD of wheat leaves  
注: S1: 球形红细菌; S2: 红螺菌; S3: 沼泽红假单胞菌; S4: 混合菌肥; S5: 培养基稀释液。  
Note: S1: *Rhodobacter sphaeroides*; S2: *Rhodospirillum rubrum*; S3: *Rhodopseudomonas palustris*; S4: Mix bacterias; S5: Media.

2.2 不同光合细菌对小麦干物质积累的影响

小麦作为一种主要粮食作物,提高产量是最终目标。干物质积累可体现植株光合生产能力,是影响小麦产量的主要因素。因此,对小麦幼苗期、分蘖期、拔节期和灌浆期等不同时期施用 PSB,研究不同 PSB 对小麦干物质积累的影响,实验结果见表 1。与对照相比,施用稀释培养基的处理增幅较小;而 PSB 可明显促进小麦干物质积累,且收获指数未发生明显的变化。与施用培养基稀释液相比混合菌肥对小麦干物质积累增加最明显为 25.7%,籽粒重量增加 14.3%;单菌株增效最大的为沼泽红假单胞菌,干物质积累和籽粒重量增效都为 13.1%;其次为红螺菌和球形红细菌。结果说明 PSB 可以有效促进小麦生长,提高植株光合物质的积累。为明确 PSB 影响小麦生长和产量的成分和原因,对盆栽小麦施用沼泽红假单胞菌液的不同成分,研究静息细胞和无细胞培养液对不同生长时期小麦产量的影响。

2.3 沼泽红假单胞菌液不同成分对不同生长时期小麦产量的影响

5 个实验处理分别为:沼泽红假单胞菌静息细胞、无细胞培养液、沼泽红假单胞菌液、培养基稀释液以及空白对照;施用方法为全生育期施用和 4 个生长时期单独施用。各成分对不同生长时期小麦产量的影响见表 2。培养基稀释液处理中除苗期外,其余时期施用后产量均有小幅提高,但差异不显著。沼泽红假单胞菌液不同成分对产量均有一定的促进作用,且不同成分的效应和作用时期有所不同。复合菌液施用后产量最高,全生育期施用效应最大,较培养基稀释液处理产量增加 14.1%,灌浆期施用后效应最大,增效为 11.4%。与对照相比,静息细胞全生育期施用增效为 13.6%,灌浆期施用对产量影响较大,增效为 12.3%,其次为拔节期和分蘖期。全生育期施用无细胞培养液增效为 8.2%,其中拔节期施用产量可提高 7.3%。

表 1 不同光合细菌对小麦干物质积累的影响

Table 1 Effects of PSB application on dry matter accumulation of wheat

处理 Treatment	干物质积累 Dry matter accumulation (g)	籽粒重量 Yield (g)	收获指数 Harvest index
S1	36.74	15.43	0.42
S2	36.59	15.37	0.42
S3	40.60*	16.65*	0.41
S4	43.13*	16.82*	0.39
S5	35.90	14.72	0.41
CK	33.11	14.24	0.43

注：S1：球形红细菌；S2：红螺菌；S3：沼泽红假单胞菌；S4：混合菌肥；S5：稀释培养基；CK：不施用的对照组。\*：表示差异达 0.05 显著水平。

Note: S1: *Rhodobacter sphaeroides*; S2: *Rhodospirillum rubrum*; S3: *Rhodopseudomonas palustris*; S4: Mix bacterias; S5: Media; CK: Control group. \*: Difference significant at the 0.05 levels.

表 2 沼泽红假单胞菌液不同成分对不同生长时期小麦产量的影响

Table 2 Effects of *Rhodopseudomonas palustris* different composition applicated on yield of wheat

时期 Period	静息细胞 Resting cells		无细胞培养液 Culture medium without cell		菌液 Culture medium		培养基稀释液 Media	
	Yield (g/pol)	Compared with CK (%)	Yield (g/pol)	Compared with medium (%)	Yield (g/pol)	Compared with medium (%)	Yield (g/pol)	Compared with CK (%)
CK	48.2	—	48.2	—	48.2	—	48.2	—
Seedling	47.3	−1.9	49.2	4.9	49.8*	6.2	46.9	−2.8
Tillering	49.8	3.1	50.3	2.9	48.9	—	48.9	1.3
Jointing	50.7*	9.2	52.9*	7.3	52.5*	6.5	49.3	2.1
Milk filling	54.2**	12.3	51.6	5.1	54.7**	11.4	49.1	1.7
Whole growth	54.8**	13.6	53.9**	8.2	56.8**	14.1	49.8	3.2

注：\*和\*\*分别表示差异达 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: \*, \*\* indicate difference significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

#### 2.4 沼泽红假单胞菌液不同成分对小麦叶片光合速率的影响

沼泽红假单胞菌静息细胞和无细胞培养液在拔节期和灌浆期施用可显著提高小麦产量。因此，在小麦拔节期和扬花后单独施用不同组分各一次，检测倒二叶光合速率的变化，研究沼泽红假单胞菌液不同成分对光合速率的影响。不同成分对拔节期叶片光合速率影响的实验结果见图2。施用后所有处理的倒二叶光合速率都呈现先上升后稳定的趋

势，PSB菌液、静息细胞和无细胞培养液对该阶段叶片光合速率均有较为明显的拉动作用。28 d时菌液的增效最大，较施用培养基稀释液的增效为17.0%，无细胞培养液为12.8%；与对照相比静息细胞增效为15.6%，培养基稀释液为2.2%。结果表明该时期施用PSB不同成分后叶片光合速率加快，植株光合作用产物增多，可形成较多的生物量。

小麦灌浆期喷施后，不同处理的光合速率也发生变化，结果见图3。与拔节期相比倒二叶光合速

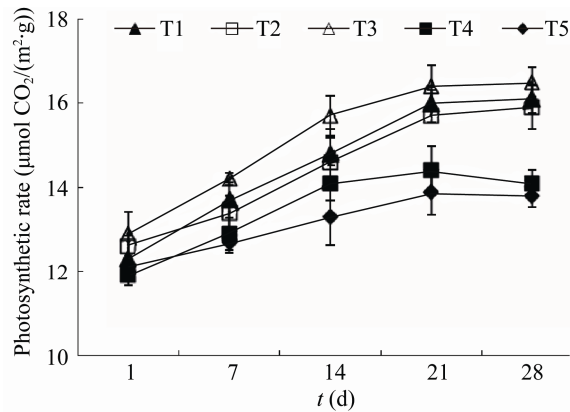


图2 PSB对小麦拔节期叶片光合速率的影响

Figure 2 Photosynthetic effects of PSB application on leaves during wheat jointing stage

注：T1：静息细胞；T2：离心后培养液；T3：菌液；T4：培养基稀释液；T5：CK。

Note: T1: Resting cells; T2: Culture medium by centrifugation; T3: Culture medium; T4: Media; T5: CK.

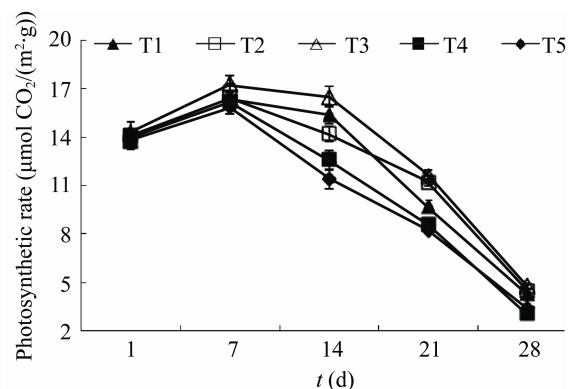


图3 PSB对灌浆期小麦叶片光合速率的影响

Figure 3 Photosynthetic effects of PSB application on leaves during wheat grain filling stage

注：T1：静息细胞；T2：离心后培养液；T3：菌液；T4：培养基稀释液；T5：CK。

Note: T1: Resting cells; T2: Culture medium by centrifugation; T3: Culture medium; T4: Media; T5: CK.

率变化趋势相同，都呈先上升后下降的趋势。在扬花后7 d达到最大值，28 d光合速率最小。对于倒二叶光合速率衰退的延迟作用，混合菌液在14 d最为明显，其次依次为静息细胞、离心后培养液和培养基。该阶段施用PSB后，可延缓叶片的衰老，使植株在较长时间内仍具有一定光合能力，有利于灌浆顺利完成。

## 2.5 光合细菌对小麦灌浆过程的影响

抽穗后叶面积的持续期与籽粒产量显著正相关。沼泽红假单胞菌的静息细胞在灌浆期施用后能明显提高小麦产量，因此研究了静息细胞对小麦灌浆的影响，实验结果见图4。扬花后喷施静息细胞，1周后籽粒开始灌浆时开始考察籽粒灌浆速率的变化。扬花后20 d前，施用组与对照的籽粒干重积累和灌浆速率没有明显差异；花后25 d开始，施用组的灌浆速率变大，籽粒干重增加快；对照于35 d开始下降，而施用组仍持续快速增加，灌浆期延长。结果说明施用PSB可延缓小麦叶片衰老，使叶片功能保持期延长，从而导致光合产物增加，籽粒干重变大。

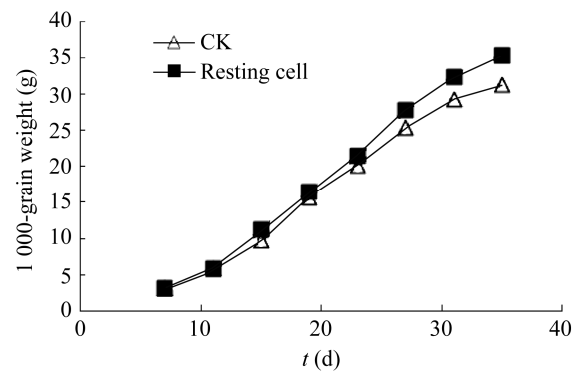


图4 PSB对小麦灌浆过程中干物质积累的影响

Figure 4 Effects of PSB application on dry matter accumulation of grain

## 3 讨论

关于PSB的理论研究，主要集中在细胞色素和代谢途径等方面，基本阐明了其光合代谢途径和调控机理，但在应用机理方面尚未完全展开，明显滞后于理论研究<sup>[13-14]</sup>。PSB对诸多作物的生长、产量、品质和抗病力均有不同程度的提高。主要原因可能有：固氮功能；为植物提供氨基酸和核苷酸等物质；提高植物抗病性和消除有害自由基；含有能促进植物生长的物质等多种原因<sup>[13,15-16]</sup>。但PSB在农业应用中仍存在许多疑问，一些基础性的问题几乎无人问津。对于不同作物的作用机理和方式尚

未形成一致的看法,比如光合细菌对很多作物生长有明显的促进作用,而吴小平等对大豆施用 PSB 时发现并无促进和增产效果,甚至在某些生长指标上起反作用<sup>[17]</sup>。此外,PSB 提高不同作物的生长和品质的作用是上述因素综合作用的结果,还是单一因素对不同的作物具有不同的效果,这些都未有明确的解释<sup>[13-17]</sup>。已有文献报道 PSB 可促进小麦种子萌发及不同胁迫条件下水培苗的生长<sup>[6,9]</sup>,在生长条件更为复杂的实际生产大田中是否还具有这样的效果却不得而知。因此,本文对大田小区和盆栽小麦施用不同种属的 PSB 及其相关成分,考察小麦产量和光合生理参数的变化。结果表明:稀释培养基处理的小麦并未表现出显著的促进和增产作用,与之相比施用 PSB 生物成分后,小麦营养生长加快,叶面积指数增加,籽粒灌浆时间延长,叶片光合作用得到提高。其增产机制应为收获指数不变的情况下增加植株的生物学产量,进而提高产量。在实际生产中施用 PSB,可进一步开发小麦产量的潜力。

通过施用叶面肥可促进作物生长和发育<sup>[10]</sup>。施用培养基稀释液后小麦处理的 SPAD 值和光合速率等生理和产量指标都有小幅提高,与对照相比差异不显著;而细菌本身和含有代谢活性物质的无细胞培养液均对小麦生长有明显的促进作用。静息细胞处理后叶片功能期相对较长,光合产物持续积累,籽粒干重持续增加;而无细胞培养液含有较多的活性代谢物质,如维生素、辅酶 Q 和光合色素等<sup>[18-19]</sup>,加速了小麦的营养生长。不同菌株中沼泽红假单胞菌液对于小麦的生长促进作用最为明显,可见日后菌肥开发菌株应为沼泽红假单胞菌为主。

实验结果表明 PSB 的活性作用可能是细菌本身和代谢活性物质协同作用的结果,是以直接或间接的方式发挥作用。为更好地发挥 PSB 制剂的作用,菌肥制作应以混合培养物为主,小麦施用时期应选择为增产效果明显的拔节期和灌浆期。Weise 等报道 PSB 可显著促进植物根的生长<sup>[16]</sup>,PSB 促进提高小麦生长和产量必然与根活力相关,但生产

条件下根系生长和活力的检测步骤相当繁琐,困难很大,为进一步深入研究的方向。目前,由于下游工程的限制,光合细菌尚未在农业领域大范围应用。PSB 具有效率高、成本低且无公害、环境友好等特点,相信随着相关研究的不断深入,PSB 必将在农业领域发挥巨大的作用。

## 参 考 文 献

- [1] Murchie EH, Pinto M, Horton P. Agriculture and the new challenges for photosynthesis research[J]. *New Phytologist*, 2009, 181(3): 532-552.
- [2] Meléndez-Martínez AJ, Fraser PD, Bramley PM. Accumulation of health promoting phytochemicals in wild relatives of tomato and their contribution to *in vitro* antioxidant activity[J]. *Phytochemistry*, 2010, 71(10): 1104-1114.
- [3] Ken S, Masanori W, Yoshito S. Applications of photosynthetic bacteria for medical fields[J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2005, 100(5): 481-488.
- [4] Habte M, Alexander M. Nitrogen fixation by photosynthetic bacteria in lowland rice culture[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1980, 39(2): 342-347.
- [5] Tian YT, Yue TL, Yuan YH, et al. Tobacco biomass hydrolysate enhances coenzyme Q10 production using photosynthetic *Rhodospirillum rubrum*[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(20): 7877-7881.
- [6] 胡青平,卫红萍,高红,等. 光合细菌 PSB-B 浸种对小麦种子萌发的影响[J]. *麦类作物学报*, 2011, 31(4): 720-723.
- [7] 郭凌,张肇铭,芦冬涛,等. 球形红细菌对镉胁迫下小麦幼苗几项生理生化指标的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 40-45.
- [8] 马文丽,张荷玲,杨素萍,等. 光合细菌对 Cd(2)胁迫下黑小麦幼苗生长及抗氧化酶的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1059-1064.
- [9] 王春虎,张胜利,王俊平,等. 不同浓度光合菌肥对小麦生长和产量的影响[J]. *广东农业科学*, 2011(16): 48-50.
- [10] 熊琦,冯安吉,刘继彪,等. 光合细菌促菠菜生长机理初探[J]. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(Suppl): 194-196.
- [11] 张如标,王蓓蓓,丁焕新,等. 氮肥对耐盐啤酒大麦产量、品质及光合功能的影响[J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(1): 162-168.
- [12] 夏玉荣,封超年,周立云,等. 几种杀虫剂对小麦旗叶光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(4): 644-650.
- [13] Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-growth-promoting

rhizobacteria[J]. Annual Review of Microbiology, 2009, 63: 541-556.

[14] 魏克强, 杨俊仙, 魏治中, 等. 光合细菌改善新型烟草品质的初步研究[J]. 微生物学通报, 2008, 35(2): 220-224.

[15] Dennis PG, Miller AJ, Hirsch PR. Are root exudates more important than other sources of rhizodeposits in structuring rhizosphere bacterial communities?[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2010, 72(15): 313-327.

[16] Weise T, Kai M, Piechulla B. Bacterial ammonia causes significant plant growth inhibition[J]. PLoS One, 2013, 8(5): e63538.

[17] 吴小平, 郑耀通, 曹榕彬, 等. 大豆田间施用光合细菌的效果[J]. 福建农林大学学报, 2003(1): 117-119.

[18] Ryu CM, Farag MA, Hu CH, et al. Bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America, 2003, 100(8): 4927-4932.

[19] Wenke K, Kai M, Piechulla B. Belowground volatiles facilitate interactions between plant roots and soil organisms[J]. Planta, 2010, 231(3): 499-506.



2014 年中国微生物学会及各专业委员会学术活动计划表

序号	会议名称	主办单位	时间	人数	地点	联系人
1	第五届全国微生物基因组及组合生物学学术研讨会	中国微生物学会	5 月	180	湖北武汉	周萍 027-87287254
2	中国微生物学会兽医微生物学专业委员会暨中国畜牧兽医学会生物制品学分会学术大会	中国微生物学会兽医微生物学专业委员会	5 月	300	辽宁沈阳	丁家波
3	第四届全国人畜共患病学术研讨会	中国微生物学会等	5 月	300	吉林长春	王旭 010-64807200
4	第五届传染病防控基础研究与应用技术论坛	中国微生物学会分析微生物学专业委员会	6 月	300	山东济南	吕向征 010-85158365
5	昆虫与微生物联合转化废弃物机制及资源化利用	中国微生物学会农业微生物学专业委员会	6 月	120	湖北武汉	张吉斌 027-87287702-8206
6	第五届全国农业微生物研究及产业化研讨会暨第十四届全国杀虫微生物学术研讨会	中国微生物学会农业微生物学专业委员会	7 月	200	云南昆明	邹成钢 0871-5031092
7	2014 年中国微生物学会学术年会	中国微生物学会	8 月	700	黑龙江哈尔滨	杨海花 王旭 010-64807200
8	第五届中国临床微生物学大会暨微生物学与免疫学论坛	中国微生物学会临床微生物学专业委员会	9 月	400	四川成都	刘辉
9	病原真菌与宿主相互作用研讨会	中国微生物学会真菌学专业委员会	9 月	100	江苏常州	卫风莲
10	第十二届全国土壤微生物学术讨论会暨第五届全国微生物肥料生产技术研讨会	中国微生物学会农业微生物学专业委员会	9 月	260	广东广州	沈德龙 马鸣超 010-82108702, 82106208
11	第四届北京中关村生物应急与临床 POCT 技术创新论坛	中国微生物学会分析微生物学专业委员会	10 月	300	北京	肖瑞峰 010 - 61271105
12	中国微生物学会微生物生物安全专业委员会第三届学术研讨会	中国微生物学会微生物生物安全专业委员会	待定	100	待定	贾晓娟
13	2014 年全国微生物毒素与脓毒症学术会议	中国微生物学会微生物毒素专业委员会	10 月	300	浙江杭州	李会
14	第二届微生物与白酒酿造技术研讨会	中国微生物学会工业微生物学专业委员会	待定	200	山东	翟磊
15	中日韩国国际酶工程学术研讨会	中国微生物学会酶工程专业委员会	11 月	200	韩国济州	欧阳浩森 010-64807420
16	第十七次全国环境微生物学学术研讨会	中国微生物学会环境微生物学专业委员会	11 月	500	四川成都	蒋建东 025-84396314
17	第二届中国放线菌生物学与产业化大会	中国微生物学会分子微生物学及生物工程专业委员会	11 月	150	广东广州	张长生 020- 89023105
18	第六届微生物资源学术暨微生物资源平台运行服务研讨会	中国微生物学会微生物资源专业委员会	11 月	300	福建厦门	姜瑞波 010-82108636