

活性制剂对冬小麦光合特性及产量的影响

刘星海^{1,2,3}, 白文波^{1,2,3}, 宋吉青^{1,2,3}

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081; 3. 农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: 通过田间试验, 在冬小麦开花前叶面喷施多功能抗蒸腾剂(FA)和自主研发的多糖类活性制剂(GR), 比较研究其对冬小麦叶绿素含量、光合蒸腾特性、干物质积累与分配、水分利用及产量的影响。结果表明, 喷施制剂 17 d 后, 冬小麦旗叶总叶绿素含量和光合速率较对照增加了 5.0%~9.1% 和 33.1%~56.7%; FA 和 GR 促使收获期小麦茎叶干物质重显著提高了 23.5% 和 16.0%, 同时, FA 使冬小麦穗干重和总干物质积累量也显著增加了 30.2% 和 22.0%; 喷施 FA 和 GR 后, 小麦产量比对照提高了 7.1% 和 5.1%。分析认为增产与两种生化制剂促进冬小麦叶绿素合成, 提高光合潜能, 以及有效调控植株体内干物质分配有关。

关键词: 生化制剂; 冬小麦; 光合速率; 叶绿素; 籽粒产量

中图分类号: S143.8; S512.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0182-05

利用生化制剂调控作物生长、水分利用、光合蒸腾特征等生理生化代谢过程, 使作物生长发育可控化, 最终达到增产的目的, 已逐渐成为我国高产高效农业发展的一个新潮流。目前对于生化制剂的研究主要集中在新材料、新产品研制^[1], 制剂性能验证^[2], 以及对作物生长和产量的调控作用等方面^[3]。

我国小麦的种植面积和总产仅次于水稻, 位居第二位^[4]。虽然已有大量关于不同种类的生化制剂在小麦上的应用效果研究^[5-7]; 但在实际应用中, 还存在化学合成制剂成本高、使用效果不显著和应用操作繁琐, 以及制剂潜在的残留和安全性等诸多问题^[8,9]。因此, 迫切需要研发应用新型多功能、无毒、无副作用的复合型生化制剂。本研究通过比较自主研发的多糖类活性制剂和市场成品多功能抗蒸腾剂在冬小麦上叶面喷施的应用效果, 旨在进一步完善制剂配方, 明确其作用效果和增产机制, 为新型绿色制剂的田间应用提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

试验于 2008 年 9 月至 2009 年 6 月在中国农业科学院东门气象试验站进行。供试品种为冬小麦 CA0045, 属冬性中晚熟品种, 生育期 254 d 左右; 分蘖力强, 亩穗数中等, 穗层整齐; 抗倒性一般, 抗寒性较好, 熟相中等, 株高约 76 cm, 穗粒数 30 个左右, 千

粒重 50 g 左右。2008 年 10 月 7 日播种, 播种量为 150 kg/hm², 平均行距 18 cm; 10 月 31 日测定基本苗约 300 万/hm²。冬小麦开花前(2009 年 5 月 3 日)将制剂与清水按 1:25 的体积比混合, 于晴天 9:00 前, 用喷雾器均匀地喷于叶片正反面, 以叶片附满溶液不下滴为宜。翌年 6 月 5 日收获。

试验所用生化制剂为自主研发的多糖类活性制剂(GR), 主要成分为植物多糖、改性淀粉、酸碱等, 以市场成品早露植宝多功能抗蒸腾剂(FA)为参照(中国林业科学研究院和北京绿色奇点科技发展有限公司研制), 并以清水为对照(CK), 共 3 个处理, 每个处理 3 次重复, 采用随机区组设计。试验小区面积 12 m × 8.5 m。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 气体交换参数 用 Li-6400 便携式光合作用测定系统(美国 LI-COR 公司)测定小麦叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、细胞间隙 CO₂ 浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr), 并计算单叶水分利用效率(WUE), $WUE = P_n/Tr$ 。9:00~11:00, 给定光强 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下, 分别于 5 月 6 日(开花期)、5 月 10 日(灌浆初期)、5 月 14 日(灌浆中期)、5 月 20 日(灌浆末期)测定冬小麦旗叶气体交换参数, 每个处理重复 4 次。

1.2.2 叶绿素相对含量 每个小区选取 10 株长势均匀的植株标记, 用叶绿素活体测定仪(SPAD-

收稿日期: 2010-01-18

基金项目: 国家“十一五”863 计划项目(2006AA100215); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助

作者简介: 刘星海(1986—), 男, 河北人, 在读硕士生, 研究方向为作物逆境生理与农业减灾。

通讯作者: 宋吉青(1963—), 男, 河南人, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事作物生长环境与材料的开发和利用, 盐碱地生物修复与资源化利用技术等领域的研究。E-mail: sokise63@yahoo.com.cn。

502, Japan) 分别于 4 月 25 日(孕穗期)、5 月 6 日、5 月 10 日、5 月 14 日和 5 月 20 日测定冬小麦旗叶、倒二叶和倒三叶的叶绿素相对含量 SPAD 值。

1.2.3 叶绿素含量 采用浸泡提取法^[10]:取剪去主脉的各处理叶片 0.20 g,剪碎,用 1:1 的丙酮:无水乙醇溶液 20 mL 浸泡,黑暗中提取叶绿素 24 h,在波长 663 nm 和 645 nm 处测定吸光度值,计算叶绿素 a(chl a)、叶绿素 b(chl b)和叶绿素总量(chl a + b)。

1.2.4 干物质及籽粒产量 待小麦完全成熟后,每小区选取 5 株,分根、茎、叶、穗测定鲜重和干重。成熟期每个小区调查单株穗数和穗粒数,收获 2 m² 计产,籽粒经晒干(含水量为 12.5%)后称重,折算出公顷产量。

1.3 数据处理与分析

图表中所有数据均为测定的平均值,采用 DPS 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 叶绿素含量

2.1.1 叶绿素相对含量(SPAD 值) 两种生化制剂对冬小麦叶片叶绿素相对含量的影响如图 1 所示,喷施制剂 3 d(5 月 6 日)、7 d(5 月 10 日)和 11 d(5 月 14 日)后,与 CK 相比,FA 和 GR 使冬小麦旗叶、倒二叶和倒三叶的 SPAD 值增加 5.1% ~ 8.5%,但 FA 和 GR 处理在整个生育期内差异并不显著。喷施制剂 17 d(5 月 20 日)后,对照倒二叶的 SPAD 值明显减小,但 FA 和 GR 处理仍保持较高的含量水平,较对照增加了 14.9% 以上。对照倒三叶的 SPAD 值随生育进程呈小幅减小的趋势,FA 和 GR 处理则呈小幅增加的趋势,达到了对照的 1.1 倍。可见,喷施两种生化制剂能不同程度地延缓冬小麦不同叶位叶绿素含量随生育进程降低的趋势。

2.1.2 叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量 小麦开花到蜡熟期,旗叶的叶绿素含量是判别其早衰与否的重要指标。如表 1 所示,喷施生化制剂 FA 后,小麦各生育期内旗叶 chl a 较对照增加了 4.5% ~ 6.3%(5 月 10 日除外),多达显著水平;但喷施 GR 并未引起 chl a 的显著增加,同时 FA 与 GR 各处理间差异也不显著。对于旗叶的 chl b 和 chl a + b,4 次取样中,FA 和 GR 处理不仅比对照显著增加了 8.3% ~ 16.1%(chl b)和 5.0% ~ 9.1%(chl a + b),而且随着生育进程始终呈线性增加。说明喷施生化制剂有利于灌浆期冬小麦旗叶叶绿素总量维持较高的水平,其中 chl b 增加的比重较大。

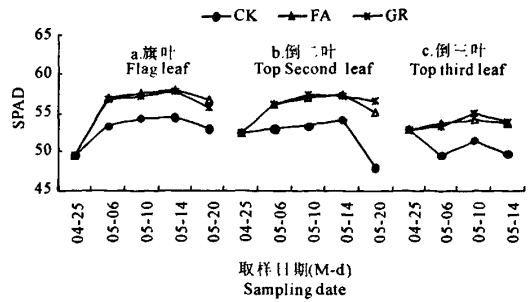


图 1 冬小麦叶片 SPAD 值的动态变化

Fig.1 The dynamic changes of SPAD values in winter wheat

表 1 冬小麦旗叶叶绿素含量变化(mg/g)

Table 1 The changes of chlorophyll contents in flag leaves of winter wheat

指标 Index	处理 Treatments	取样日期 Sampling date(M - d)				
		04 - 25	05 - 06	05 - 10	05 - 14	05 - 20
叶绿素 a Chl a	CK	2.82 a	2.71 b	2.90 a	2.87 b	2.80 b
	FA	2.82 a	2.88 a	2.95 a	3.00 a	2.97 a
	GR	2.82 a	2.82 ab	2.96 a	2.97 ab	2.91 ab
叶绿素 b Chl b	CK	1.17 a	1.12 b	1.26 b	1.32 b	1.34 b
	FA	1.17 a	1.30 a	1.42 a	1.49 a	1.53 a
	GR	1.17 a	1.23 a	1.39 a	1.43 a	1.46 a
叶绿素总量 Chl a + b	CK	3.98 a	3.83 b	4.15 b	4.19 b	4.14 b
	FA	3.98 a	4.18 a	4.37 a	4.49 a	4.51 a
	GR	3.98 a	4.12 a	4.35 a	4.39 a	4.37 a

2.2 气体交换参数

2.2.1 光合速率和蒸腾速率 研究表明成熟籽粒中干物质的 20% ~ 30% 来自旗叶的光合作用^[11]。同 CK 相比,喷施生化制剂使冬小麦净光合速率始终呈小幅增加的趋势,尤其在喷施制剂 17 d 后,FA 和 GR 使光合速率较对照显著增加了 33.1% 和 56.7%(图 2)。

作物籽粒形成的物质来源一是光合作用产物的直接输送,二是茎叶养分向籽粒的转移,蒸腾作用是后者的动力基础。喷施两种生化制剂对各生育期冬小麦旗叶蒸腾速率的影响不大,且各处理间差异并不显著(图 2)。

2.2.2 气孔导度和细胞间隙 CO₂ 浓度 气孔控制着植株与外界环境的水气交换,一般植物通过气孔的水分损失量占植物体水分总损失量的 80% ~ 90%,因此,气孔调节对控制水分损失和气体交换起着重要作用。试验中仅在 5 月 14 日,FA 和 GR 使冬小麦旗叶气孔导度比对照显著增加了 25.0% 和 27.9%,其余取样时期各处理差异均不显著(图 3)。

对于单叶的细胞间隙 CO₂ 浓度,与对照相比,FA 和 GR 处理促使其呈小幅下降的趋势,但 5 月 14 日的

值呈小幅增加(图 3)。

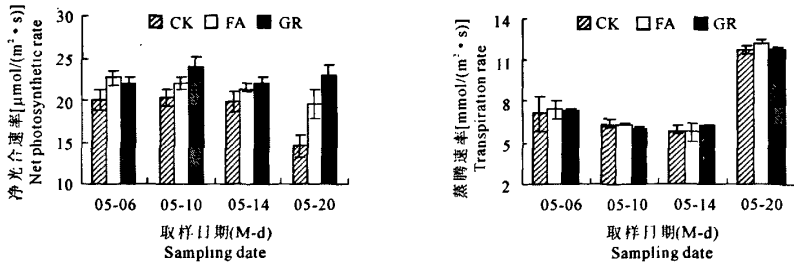


图 2 冬小麦旗叶光合速率和蒸腾速率的动态变化

Fig. 2 The dynamic changes of photosynthetic rate and transpiration rate in flag leaves of winter wheat

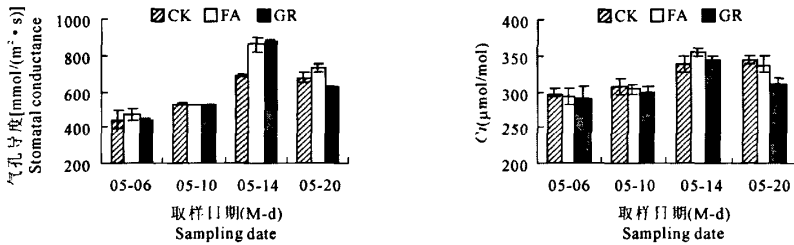


图 3 冬小麦旗叶气孔导度和细胞间隙 CO₂ 浓度(C_i)的动态变化

Fig. 3 The dynamic changes of stomatal conductance and intercellular CO₂ concentration in flag leaves of winter wheat

2.2.3 单叶水分利用效率 小麦旗叶单叶的水分利用效率,一定程度上可以反映叶片对水分瞬时的吸收和利用状况。FA 和 GR 处理促使不同生育期小麦旗叶水分利用效率均比对照有所提高(表 2),而后者增加的幅度更大。灌浆前期(5 月 14 日前),FA 和 GR 使小麦单叶水分利用效率较对照显著增加了 11.7%~20.4%,但随着小麦叶片衰老,各处理水分利用效率均明显减小(5 月 20 日)。

表 2 冬小麦单叶的水分利用效率

Table 2 The water use efficiency in winter wheat

取样日期(M-d) Sampling date	处理 Treatments		
	CK	FA	GR
05-06	2.66	2.97	3.01
05-10	3.18	3.65	3.83
05-14	3.52	3.60	3.69
05-20	1.53	1.61	1.80

2.3 干物质积累与分配

喷施生化制剂对冬小麦各部位(根、茎、叶、穗)干物质重有不同的影响(图 4)。FA 处理的单株总干物质重(8.6 g/株)较 CK(7.2 g/株)和 GR(7.5 g/株)显著增加了 22.0%和 16.4%,但 CK 和 GR 间

总干物质重无显著差异。干物质分配方面,虽然 CK 的根重略微大于 FA 和 GR 处理,但各处理间差异并不显著;FA 和 GR 的茎叶干重比对照显著增加了 23.5%和 16.0%;对于穗干重,与对照相比,FA 处理显著增加了 30.2%,GR 处理虽也增加了 8.1%,但差异并不显著。进一步比较冬小麦干物质由营养器官(根、茎、叶)向生殖器官(穗)的分配比,喷施 FA 和 GR 能促进其比值较对照增加 14.2%和 6.3%。

2.4 产量及产量构成

喷施两种生化制剂后,虽然冬小麦单株穗数、穗粒数和千粒重较对照均有小幅增加的趋势,但各处理间差异并不显著。FA 和 GR 能促使冬小麦籽粒产量较对照显著增加 7.1%和 5.1%(表 3)。

表 3 冬小麦籽粒产量及产量构成

Table 3 Grain yield and yield components in winter wheat

处理 Treatments	穗数 Spike number (number/plant)	穗粒数 Kernel number/spike	千粒重 1000-grain weight (g)	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)
CK	2.23 a	25.77 a	52.77 a	9449.96 b
FA	2.27 a	26.33 a	54.23 a	10125.60 a
GR	2.24 a	26.58 a	53.51 a	9932.12 a

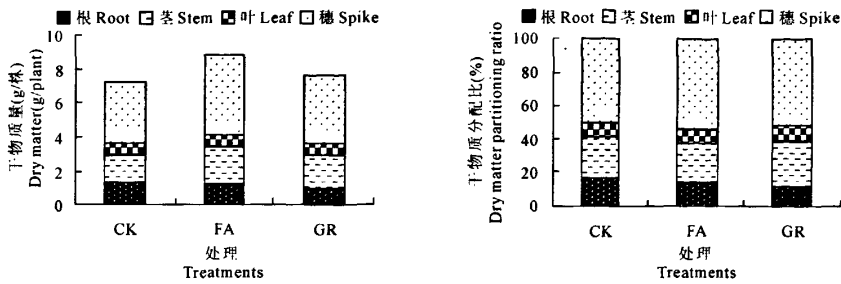


图 4 收获期冬小麦干物质积累与分配状况

Fig.4 The accumulation and distribution of dry matter in winter wheat

3 讨论

叶绿素含量的高低很大程度上反映了植株的生理状况和叶片光合能力。叶绿素含量降低引起的光合活性下降是叶片衰老的最明显特征,整个生育期内,如果小麦叶绿素含量下降速度过快就会导致小麦出现早衰,缩短叶片功能期和籽粒灌浆时间,直接导致减产,因此要想获得较高的产量,必须要延长旗叶的光合作用^[12]。本试验中,喷施 FA 和 GR 均引起了各生育期内冬小麦旗叶、倒二叶和倒三叶 SPAD 值的显著增加(图 1),同时旗叶的总叶绿素含量不仅比对照显著增加了 5.0%~9.1%,而且随着生育进程呈线性增加(表 1)。说明在冬小麦开花前喷施两种生化制剂不仅有利于灌浆期冬小麦旗叶叶绿素含量维持较高的水平,而且一定程度上也延缓了叶绿素含量随生育期的降低效应,有助于冬小麦维持较高的光合潜能,试验中也得到了一致的结论(图 2)。

生育后期,功能叶片的光合产物对籽粒的贡献高达 80%,是小麦产量形成的关键^[13]。已有研究表明喷施生化制剂可以不同程度地提高小麦光合潜能^[14]。本研究中,喷施 FA 和 GR 后,冬小麦旗叶的 P_n 较对照始终呈增加的趋势,17 d 后,增幅达到了 33.1%和 56.7%。FA 和 GR 未引起旗叶 T_r 的显著变化(图 2)。李茂松等研究发现喷施抗蒸腾剂将抑制植物蒸腾速率^[14,15],不同的研究结果很可能与实验条件有关,本研究中,对小麦进行常规管理,供水充足;而在前人的研究中小麦处于干旱胁迫生境^[14,15]。同时也说明抗蒸腾剂对植物光合特征的影响与植物对水分的需求有关,当水分缺乏时,抗蒸腾剂通过减小气孔导度来降低蒸腾,以减缓水分的散失,增加植物的光合作用;当水分充足时,抗蒸腾剂既能促进植株光合潜能,又不降低蒸腾,使植物始终维持较高的光合活性,相关机理还有待进一步论

证。

5 月 14 日取样时,冬小麦旗叶气孔导度的显著升高很可能是冬小麦生长发育过程中对高温环境的一种适应性机制。一方面增加了叶片对外界 CO_2 的吸收,致使 G_i 增加,冬小麦的光合能力增强,光合产物输出增加;另一方面也使水分通过气孔的扩散增加,从而使叶片蒸腾速率维持在较高的水平,一定程度上缓解了环境高温引起的叶片温度过高。此时冬小麦单叶的水分利用效率有所增加(表 2),这说明冬小麦在一定生境中会尽量地以有限的水分散失来换取最大的 CO_2 同化量,保障作物生长发育中对光合和水分的需求。

叶面喷施 FA 和 GR 会影响冬小麦体内干物质积累与分配。总的来看,施用两种生化制剂会不同程度地抑制成熟期小麦根系发育,促进茎叶生长,使得茎叶干重较对照显著增加 23.5%(FA)和 16.0%(GR)。此外,市场成品制剂 FA 使小麦穗干重也显著增加了 30.2%,最终使其总干物质积累量增加了 22.0%(图 4)。同对照相比,喷施制剂 FA 和 GR 能促进冬小麦干物质由营养器官向生殖器官的分配率增加 14.2%和 6.3%(图 4)。有研究表明,较高的生殖器官与营养器官干物质分配比能促进作物增产^[16],本研究中也得到了类似的结论。喷施 FA 和 GR 促使冬小麦产量较对照分别增加了 7.1%和 5.1%(表 3)。

综上所述,初步认为在冬小麦开花前叶面喷施多功能抗蒸腾剂和自主研发的多糖类活性制剂能在一定程度上促进其增产,且前者的增产效应较大。分析增产的原因,一方面与促进植株体内叶绿素合成,提高光合潜能有关,另一方面归功于对植株体内干物质分配的有效调控。比较而言,GR 对叶绿素含量增加的效应大于 FA,但对小麦光合和干物质分配的调控效应小于 FA。在后续的研究中,拟在不断完善多糖类活性制剂配方的基础上,深入开展作物不

同喷施时期、水肥状况以及制剂用量等方面的组合应用研究,进一步明确其增产作用和机理。

参考文献:

- [1] Li Y H, Zhang X J, Ren T R, et al. New catalytic methods for the preparation of acetals from alcohols and aldehydes[J]. *Synthetic Communications*, 2006, 12(36): 1679—1685.
- [2] Ren T R, Xie Y H, Zhu W W, et al. Activities and toxicity of a novel plant growth regulator 2-furan-2-yl-[1,3] dioxolane[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2007, 26: 362—368.
- [3] Criado M V, Roberts I N, Echeverria M, et al. Plant growth regulators and induction of leaf senescence in nitrogen - deprived wheat plants[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2007, 26: 301—307.
- [4] 于振文. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [5] Bull D A, Zhang G P, Chen J X. Effect of timing of N fertilizer and PGR on N uptake and utilization in wheat[J]. *Journal of Zhejiang University*, 2000, 26(2): 159—164.
- [6] Klein J D, Mufadi I, Cohen S, et al. Establishment of wheat seedlings after early sowing and germination in an arid Mediterranean environment[J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94: 585—593.
- [7] 刘海英, 郭天财, 朱云集, 等. 开花期外施油菜素内酯(epi-BR)对小麦籽粒淀粉积累及其关键酶活性的影响[J]. *作物学报*, 2006, 32(6): 924—930.
- [8] 赵敏, 邵凤贤, 周淑新, 等. 植物生长调节剂对农作物和环境的安全性[J]. *环境与健康杂志*, 2007, 24(5): 370—372.
- [9] 田晓莉, 谢湘毅, 周春江, 等. 植物生长调节剂甲哌鎓在土壤中的降解及其影响因子[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(5): 1726—1731.
- [10] 王学奎. 植物生理生化试验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [11] 徐恒水, 赵君实. 高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献[J]. *作物学报*, 1995, 21(2): 204—209.
- [12] Adrienn G, Irma T, Agnes G, et al. Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels, and grain yield[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009, 28(2): 167—176.
- [13] 吴金芝, 黄明, 李友军, 等. 不同耕作方式对冬小麦光合作用产量和水分利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(5): 18—21.
- [14] 李茂松, 李森, 张述义, 等. 灌浆期喷施新型 FA 抗蒸腾剂对冬小麦的生理调控作用研究[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(4): 703—708.
- [15] 李茂松, 李森, 张述义, 等. 一种新型 FA 抗蒸腾剂对春玉米的生理调节作用研究[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(11): 1266—1271.
- [16] Jost P H, Cothren J T. Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultra - narrow row spacings[J]. *Crop Science*, 2000, 40: 430—435.

Effects of new active agents on the growth and yield of winter wheat

LIU Xing-hai^{1,2,3}, BAI Wen-bo^{1,2,3}, SONG Ji-qing^{1,2,3}

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Key Laboratory of Agro-Environment & Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China; 3. Key Laboratory for Dryland Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: The chlorophyll content, photosynthesis and transpiration, water use efficiency, dry matter accumulation and distribution were studied in field experiment, with the aim of determining the effects of multi-functional anti-transpirant (FA) and new active agent (GR) on the growth and grain yield of winter wheat after foliage spraying before the flowering stage. The results indicated that after 17 days, the chlorophyll content and photosynthesis in flag leaves of winter wheat increased by 5.0% ~ 9.1% and 33.1% ~ 56.7% compared to those of the control. In FA and GR treatments, the dry matter accumulations in stems and leaves incr sharply eased by 23.5% and 16.0%, respectively. Meanwhile, the spikes dry weight and total dry matter in FA treatment significantly increased by 30.2% and 22.0%. The grain yields increased by 7.1% and 5.1%, respectively, after spraying FA and GR. It was initially considered that due to the increasing of chlorophyll content, photosynthetic capacity, and the effective control and regulation of dry matter partition, the yields of winter wheat were enhanced in biochemical agent treatments.

Keywords: biochemical agent; winter wheat; photosynthesis; chlorophyll; grain yield