

冬小麦开花期光合源构成及其对穗粒重的贡献

谢连杰, 田奇卓, 李娜娜, 王树亮, 刘国伟, 裴艳婷

(山东农业大学, 山东 泰安 271018)

摘要: 采用剪摘叶片、包穗方法研究了4个冬小麦品种开花期不同光合源构成及其对穗粒重的影响。结果表明, 开花期不同光合器官占总绿色面积的比例为: 叶片 49.82% ~ 55.27%, 茎鞘 24.76% ~ 30.83%, 穗部 19.11% ~ 21.68%; 4个品种非叶器官绿色面积与叶片面积的比例依次为 1.00 : 1, 1.01 : 1, 0.81 : 1 和 0.96 : 1, 且随着时间的推移逐渐增大。不同光合器官对穗粒重的贡献率分别为: 叶片 37.62% ~ 55.49%、茎鞘 23.78% ~ 31.72%、穗部 20.73% ~ 30.65%, 不同穗型品种比较, 大穗型品种的茎鞘和穗部贡献率均大于多穗型品种, 而叶片的贡献率则相反; 不同叶位叶片的贡献率为: 旗叶 > 倒二叶 > 倒三叶 > 倒四叶, 4个品种一致。当某一叶片损失后, 剩余邻近叶片的光合速率有明显的补偿效应。

关键词: 冬小麦; 开花期; 光合源; 分布; 穗粒重; 贡献

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)01-0091-05

Constitution of Photosynthesis Source and Contribution to Grain Weight on Flowering Period of Winter Wheat

XIE Lian-jie, TIAN Qi-zhuo, LI Na-na, WANG Shu-liang, LIU Guo-wei, PEI Yan-ting

(Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: The decreasing leaf and covering ear method was used to research the constitution of photosynthesis source and contribution of grain weight on flowering period of four kinds of winter wheat. The result showed that the proportion of different photosynthetic organs to the total green area on flowering period was: blades 49.82%—55.27%, stem sheath 24.76%—30.83%, ear part 19.11%—21.68%; Proportions of four breeds between green area be not leaf organ and blades area were 1.00 : 1, 1.01 : 1, 0.81 : 1 and 0.96 : 1, and the proportion increase as time went by gradually. The contribution rate to ear grain weight of different photosynthesis source was: blades 37.62%—55.49%, stem sheath 23.78%—31.72%, ear part 20.73%—30.65%, comparison among different kinds of ear types, contribution of stem sheath and ear part of big ear type breeds was greater than many ear type breeds, but blade's contribution was contrary; The contribution of blades with different leaf place was the flag leaf > top 2nd leaf > top 3rd leaf > top 4th leaf, four kinds of breeds had the same trend. When any blade lose, the photosynthetic rate of close blades had compensating effect obviously.

Key words: Winter wheat; Flowering period; Photosynthesis source; Distribution; Grain weight; Contribution

光合作用是小麦生产最基本的生理过程和干物质积累的生理基础, 小麦不同生育阶段生物产量的高低与光合性能五个方面密切相关; 而籽粒产量主要依赖于小麦扬花后冠层光合产物的积累; 国内外^[1-3]在旗叶和倒二、三叶光合作用及其对籽粒贡献的研究较多, 对非叶器官光合性能的研究虽然很

早即受到人们的关注^[4-6], 但研究不够系统深入。近年来, 为探讨小麦超高产、干旱逆境和不同类型品种的光合特点, 挖掘和利用整株光合潜力成为重要研究方向^[7, 8]。本研究在前人研究的基础上, 设计了不同器官和部位光合源损失的7种处理, 以净光合积累为指标, 探讨高产条件下小麦开花期不同光

收稿日期: 2007-11-11

基金项目: 国家粮食丰产科技工程(2006BAD02A09); 国家科技支撑计划课题(2006BAD04B01)

作者简介: 谢连杰(1983-), 男, 山东烟台人, 在读硕士, 主要从事冬小麦光合生理的研究。

通讯作者: 田奇卓(1953-), 男, 山东济宁人, 教授, 博士生导师, 主要从事小麦栽培生理研究。

合器官绿色面积分布及其对籽粒产量构成的影响,旨在为小麦高产栽培合理群体的调控和整株光合潜力的科学利用寻求理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计及测定方法

本试验采用分蘖力与成穗率较高的济麦 20 号和鲁麦 14 号,分蘖成穗率低的山农 8355 和山农 01-35 4 个品种(系)为材料。采用剪摘叶片、包穗方法设计了 7 个处理,分别为:处理 1,不剪叶(对照);处理 2,剪全部叶片;处理 3,剪全部叶片后用黑光纸包穗;处理 4,剪旗叶;处理 5,剪倒二叶;处理 6,剪倒三叶;处理 7,剪倒四叶。

试验于 2005—2006 年在山东农业大学农学试验站进行,试验地为高肥力中壤土;底肥施纯氮 120 kg/hm²,五氧化二磷 120 kg/hm²,氧化钾 105 kg/hm²。于 10 月 5 日播种,行距 25 cm,小区面积 16 m²;济麦 20 号和鲁麦 14 号基本苗为 210×10⁴/hm²,山农 8355 和山农 01-35 基本苗为 270×10⁴/hm²。拔节初期追施纯氮 120 kg/hm²,分别于越冬前、拔节、挑旗期浇水 3 次,其他管理同一般高产田。

于开花期在 4 个品种小区内各选择株高、开花期、穗头大小均匀一致的 700 个单茎用黑线标记,然后在不破坏自然群体状态的情况下,每个处理选 100 个单茎进行剪叶、包穗处理。同时每个品种取 60 个与标记株一致的单茎(每 20 个为一组),带回实验室,测定当时穗部、各节位茎鞘、各叶位的绿色面积和干物重。5 月 24 号取样测各器官绿色面积(每个处理 20 个单茎),6 月 5 日(蜡熟期)早晨整行挖取并仔细拣出各处理各叶片完整的 60 个单茎(每 20 个一组),带回实验室;剪根后,将处理 2 和 3 的单茎分为籽粒、颖壳,穗下第一节、第二节、第三节和剩余节位六个部分并称重,处理 1 和 4~7 分别分为叶片、茎鞘、籽粒和颖壳四部分并称重,同时测定各处理籽粒产量、穗粒数和千粒重。5 月 14 和 24 日采用 LI-6400 光合仪测定各处理不同叶位叶片的光合速率,每个处理重复 5 次。

1.2 数据的处理及计算方法

开花期不同光合器官面积的计算:设各层叶片面积为 S_l,茎鞘面积(穗下 1~2 节)为 S_s,穗面积为 S_e,则 $S_l = \sum_{i=1}^N \text{长} \times \text{宽} \times 0.83/N$, $S_s = \sum_{i=1}^N \text{长} \times \text{直径} \times \pi/N$, $S_e = \sum_{i=1}^N (\text{穗长} \times \text{穗宽} \times 2 + \text{穗长} \times \text{穗厚} \times 2)/N$ 。不同光合器官对穗粒重贡献的计算:不同叶位叶片

的贡献=对照—各摘叶处理;穗部的贡献=处理 2—处理 3,茎鞘的贡献=收获期处理 3—(开花期茎鞘干物重—收获期茎鞘干物重),某光合器官的贡献率=某器官的贡献/所有器官贡献总和。

2 结果与分析

2.1 开花期不同光合器官的绿色面积及分布比例

由表 1 可知,大穗型品种山农 8355 和山农 01-35 单茎绿色器官的总面积分别为 196.36 cm² 和 201.87 cm²,多穗型品种济麦 20 号和鲁麦 14 号分别为 172.07 cm² 和 153.99 cm²;表明,不同穗型品种之间的单茎绿色总面积存在较大的差距。同品种不同光合器官绿色面积大小排序为:茎生上 4 叶总面积>茎鞘>穗部,4 个品种趋势一致;不同光合器官占总绿色面积的比例:叶片 49.82%~55.27%,茎鞘 24.76%~30.83%,穗部 19.11%~21.68%;各品种不同叶位叶面积均呈现旗叶>倒二叶>倒三叶>倒四叶,其中旗叶与倒二叶无明显差异;但大穗型品种上两片叶显著大于倒三和倒四叶,中穗型品种不同叶位的叶面积差异较小。

由表 1 还可以看出,4 个品种非叶器官绿色面积与叶片面积的比例依次为 1.00 :1, 1.01 :1, 0.81 :1 和 0.96 :1,非叶器官占总绿色面积的比例分别为 49.94%, 50.18%, 44.73% 和 49.00%;说明,在开花期非叶器官绿色面积与叶片绿色面积基本相当(济麦 20 号稍低)。至开花后 23 d,山农 8355、山农 01-35、济麦 20 和鲁麦 14 号的单茎平均叶片数分别降至 3.7, 3.3, 3.5 和 3.9 张,单茎平均叶面积分别降到 91.37, 80.83, 62.90 和 67.58 cm²;与开花期相比分别降低了 7.04%, 19.63%, 33.87% 和 13.95%;而穗部由于灌浆的膨胀作用,单穗绿色面积却比开花期分别增加了 7.10%, 13.55%, 8.97% 和 15.93%,占总绿色面积的比例分别提高到 19.83%, 26.42%, 26.19%, 25.51%;叶器官占总绿色面积的比例则降低至 47.60%, 42.98%, 44.01% 和 45.59%。4 个品种非叶器官绿色面积与叶片面积的比例则依次提高到 1.10 :1, 1.33 :1, 1.29 :1 和 1.19 :1。究其原因,可能与各品种群体不同下部叶片的衰亡速度不同有关;而穗、茎等非叶器官由于所处的空间位置有利于截获光能和 CO₂,所以生育后期绿色器官反而有所增加。根据前人研究的结果^[4~9],非叶器官在灌浆过程中的光合稳定性明显高于叶片,说明非叶器官在籽粒形成期可能是籽粒充实的主要光合物质的供给源。

表 1 开花期不同光合器官绿色面积及其分布比例

Tab. 1 Green area and distribution ratio of different photosynthetic organs on flowering period								
品种 Variety	茎鞘 Stem+ Sheat	穗部 Spike	叶片 Leaf	旗叶 Flag leaf	倒二叶 The 2nd top leaf	倒三叶 The 3rd top leaf	倒四叶 The 4th top leaf	总合计 Total
山农 8355/ cm ² Shannong8355	62. 51	35. 56	98. 29	32. 27	31. 95	21. 48	12. 58	196. 36
所占比例/ % Proportion	30. 83	19. 11	50. 06	16. 43	16. 27	10. 94	6. 41	100. 00
山农 01-35/ cm ² Shannong01- 35	57. 54	43. 76	100. 57	35. 92	28. 37	21. 52	14. 76	201. 87
所占比例/ % Proportion	28. 50	21. 68	49. 82	17. 79	14. 05	10. 66	7. 31	100. 00
济麦 20 号/ cm ² Jimai20	42. 60	34. 35	95. 11	28. 17	27. 35	22. 95	16. 64	172. 07
所占比例/ % Proportion	24. 76	19. 96	55. 27	16. 37	15. 89	13. 34	9. 67	100. 00
鲁麦 14 号/ cm ² Lumai 14	42. 87	32. 58	78. 54	23. 31	20. 76	19. 39	15. 07	153. 99
百分比/ % Proportion	27. 84	21. 16	51. 00	15. 14	13. 48	12. 59	9. 79	100. 00

2.2 不同处理对单茎穗粒重及其构成的影响

表 2 是不同处理成熟期单茎生产力及其构成的测定结果。可以看出, 各品种的单茎穗粒重均为处理 1(对照)最高, 其他 6 个处理均有不同程度的降低; 降低幅度依次为处理 3> 处理 2> 处理 4> 处理 5> 处理 6> 处理 7; 单因素方差分析表明, 处理间达

到极显著水平, 重复间未达到显著水平, LSR 分析进一步表明, 不同品种的处理 1 与处理 2 和处理 3, 处理 2 与处理 3 之间均达到极显著差异(表 2 仅标出 5%显著水平), 其他处理与处理 1 均达到不同程度的显著水平(表 2)。表明在开花期不同的绿色光合器官损失后对经济产量的影响不同。

表 2 不同处理对单茎穗粒重及其构成的影响

Tab. 2 Impact of different treatment on stem-grain weight and constitution								
项目 Item	品种 Variety	处理 1 Treat- ment 1	处理 2 Treat- ment 2	处理 3 Treat- ment 3	处理 4 Treat- ment 4	处理 5 Treat- ment 5	处理 6 Treat- ment 6	处理 7 Treat- ment 7
穗粒重/g Grain weight	山农 8355	2. 47a	1. 75c	1. 18d	2. 15b	2. 23b	2. 40a	2. 40a
	山农 01-35	2. 54a	1. 89d	1. 29e	2. 28c	2. 27c	2. 38bc	2. 42ab
	济麦 20 号	1. 54a	1. 09d	0. 75e	1. 20c	1. 24c	1. 38b	1. 43ab
	鲁麦 14 号	1. 86a	1. 21d	0. 86e	1. 58c	1. 63c	1. 72b	1. 83a
	山农 8355	60. 88a	48. 15d	38. 12e	57. 48c	57. 99bc	58. 97bc	59. 79ab
千粒重/g Kernel weight per 1 000	山农 01-35	69. 76a	59. 31c	50. 33d	66. 96b	67. 76ab	68. 41ab	69. 56a
	济麦 20 号	47. 36a	39. 81c	34. 10d	42. 82b	43. 22b	46. 69a	46. 74a
	鲁麦 14 号	47. 86a	38. 17c	33. 21d	45. 23b	46. 08ab	46. 60ab	47. 72a
	山农 8355	41. 82a	36. 46d	31. 11e	38. 05cd	39. 64bc	39. 47bc	40. 82ab
穗粒数/ 个 Kernel amount per spike	山农 01-35	36. 92a	31. 81c	25. 40d	33. 48b	34. 02b	34. 74b	34. 79b
	济麦 20 号	33. 22a	27. 71d	21. 49e	28. 80cd	29. 17bcd	29. 86bc	31. 02b
	鲁麦 14 号	38. 40a	31. 80d	25. 08e	34. 30c	35. 28bc	36. 75ab	37. 40a

不同处理对千粒重和穗粒数的影响也存在显著差异, 影响程度的总趋势与穗粒重相同, 但影响程度低于穗粒重。

2.3 不同绿色光合器官对穗粒重及构成的贡献率

表 3 是不同光合器官对穗粒重及其构成因素贡献率的计算结果。可以看出, 不同光合器官对穗粒重的贡献率依次为: 叶片 37. 62% ~ 55. 49%, 茎鞘 23. 78% ~ 31. 72%, 穗部 20. 73% ~ 30. 65%; 不同叶位叶片的贡献率呈现出随叶位的降低而降低的趋势, 即旗叶 13. 14% ~ 20. 73%, 倒二叶 2. 65% ~ 18. 29%, 倒三叶 3. 76% ~ 9. 96%、倒四叶 2. 14% ~ 6. 71%, 且 4 个品种一致。不同穗型品种间比较, 大穗型品种的茎鞘和穗部贡献率均大于多穗型品种, 而叶片的贡献率则相反。

4 个品种不同光合器官对千粒重的贡献率变化

范围依次为: 茎鞘 48. 39% ~ 57. 99%, 穗部 18. 80% ~ 24. 91%, 叶片 17. 40% ~ 32. 82%。不同品种均表现为茎鞘最大, 但是叶片与穗器官的贡献率却因品种类型不同而呈现差异; 其中大穗型品种的穗器官贡献率大于叶片, 多穗型品种叶片的贡献率大于穗器官。不同叶位叶片对千粒重的贡献也呈现出随叶位降低而降低的趋势, 即旗叶 7. 67% ~ 14. 94%, 倒二叶 5. 48% ~ 13. 63%, 倒三叶 2. 21% ~ 5. 19%和倒四叶 0. 55% ~ 2. 71%, 且 4 个品种一致。

从表 3 还可以看出, 各品种不同光合器官对穗粒数的贡献率茎鞘的最大(39. 54% ~ 48. 96%), 其次为叶片(32. 39% ~ 41. 89%), 再次为穗部(18. 57% ~ 22. 08%), 不同叶位叶片呈现与穗粒重和千粒重相同的规律(表 3)。综合上述, 不同光合器官对穗粒重及其构成的贡献率因品种的不同而有一定的

差异。

将表3与表1数据结合分析,茎鞘对穗粒重的贡献率与开花期绿色面积的比例基本一致,穗部的贡献率大于开花期绿色面积的比例,叶片总的贡献率则小于开花期叶片占总绿色面积的比例(济麦20号的贡献率稍大于开花期叶片占总的面积比例)。而对千粒重和穗粒数的贡献率,茎鞘远大于开花期

的绿色面积比例,穗器官的贡献率也与开花期面积比例基本一致,叶片的贡献率小于开花期的绿色面积比例。与5月24日测定的叶面积比例相比较,叶器官的面积比例虽然减少,但是贡献率与叶面积所占比例相比仍然偏小,这可能与生育后期叶片的光合速率大幅度降低有关。

表 3 不同光合器官对穗粒重及其构成的贡献率

Tab. 3 Contribution rate of different photosynthetic organs on grain weight and constitution								%
项目 Item	品种 Variety	茎鞘 Stem+ Sheat	穗部 Spike	旗叶 Flag leaf	倒二叶 The 2nd top leaf	倒三叶 The 3rd top leaf	倒四叶 The 4th top leaf	叶合计 Total
穗粒重/g Grain weight	山农 8355	31.72	30.65	17.20	12.90	3.76	3.76	37.62
	山农 01-35	31.39	29.20	13.14	12.65	7.79	5.84	39.42
	济麦 20 号	23.78	20.73	20.73	18.29	9.76	6.71	55.49
	鲁麦 14 号	26.69	24.91	19.93	16.37	9.96	2.14	48.40
千粒重/g Kernel weight per 1 000	山农 8355	52.01	24.91	8.45	7.18	4.74	2.71	23.08
	山农 01-35	57.99	24.61	7.67	5.48	3.70	0.55	17.40
	济麦 20 号	48.39	18.80	14.94	13.63	2.21	2.04	32.82
	鲁麦 14 号	55.60	20.45	10.84	7.34	5.19	0.58	23.95
穗粒数/个 Kernel amount per spike	山农 8355	48.96	18.64	13.13	7.59	8.19	3.48	32.39
	山农 01-35	47.12	19.87	10.66	8.99	6.76	6.60	33.01
	济麦 20 号	39.54	18.57	13.20	12.09	10.03	6.57	41.89
	鲁麦 14 号	45.48	22.08	13.47	10.25	5.42	3.29	32.43

2.4 不同叶位叶片损失对剩余叶片光合速率的影响

为探讨不同叶位绿色面积损失后,其他叶片的补偿效应,于开花后13、23 d分别测定了大穗型品种山农8355和多穗型品种鲁麦14号旗叶、倒二、倒三、倒四叶的光合速率(表4)。可以看出,花后13 d的光合速率与对照相比较,无论损失哪个叶位的叶片,剩余叶位其他叶片的光合速率均有不同程度的

提高;这一结果表明,光合器官之间存在一定的补偿效应,开花后某一叶片损失后,剩余叶片光合能力有所增强,而且表现出就近补偿的现象。

花后23 d速率的比较,此时期每单茎叶片下降到3.3~3.9张,特别是倒四、倒三叶衰老现象严重。与花后13 d比较可以看出,此时期光合速率明显降低,不同处理的相同叶位叶片的光合速率没有明显差异。

表 4 不同叶位叶片灌浆期光合速率的补偿效应

Tab. 4 Compensation effect of the photosynthetic rate on filling stage with different location leaves $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$											
时间 Time	叶位 Leaf location	山农 8355		Shannong 8355			鲁麦 14 号		Lumai 14		
		处理 1 Treat- ment 1	处理 2 Treat- ment 2	处理 3 Treat- ment 3	处理 4 Treat- ment 4	处理 5 Treat- ment 5	处理 1 Treat- ment 1	处理 2 Treat- ment 2	处理 3 Treat- ment 3	处理 4 Treat- ment 4	处理 5 Treat- ment 5
花后 13 d	旗叶	26.33		27.77	26.60	27.27	25.80		27.03	25.85	25.77
13 d after	倒二叶	21.41	22.44		22.03	21.13	20.67	22.70		21.05	20.57
anthesis	倒三叶	12.67	13.45	14.00		13.67	11.50	11.60	12.43		11.73
花后 23 d	倒四叶	6.05	6.93	6.32	6.27		8.20	8.57	8.21	8.80	
23 d after	旗叶	17.68		17.86	17.70	17.76	14.45		15.02	14.40	14.49
anthesis	倒二叶	11.08	11.69		11.14	11.07	7.37	7.58		8.24	7.70
	倒三叶	5.40	5.30	5.85		4.79	4.59	4.76	4.72		4.22

3 结论与讨论

3.1 关于开花期不同光合器官的绿色面积分布

由于小麦穗部形态结构比较复杂,至今没有一个科学的测量方法,所以关于穗、茎鞘和叶片绿色面积的比例鲜见报道。本研究参考Teare等^[19]的方

法,采用穗面积= $\sum_{i=1}^N(\text{穗长} \times \text{穗宽} \times 2 + \text{穗长} \times \text{穗厚} \times 2)/N$ 计算得出。开花期不同光合器官占总绿色面积的比例:叶片在49.82%~55.27%,茎鞘在24.76%~30.83%,穗部在19.11%~21.68%;山农8355、山农01-35、济麦20和鲁麦14号4个品种非

叶器官占总绿色面积的比例分别为 49.94%, 50.18%, 44.73% 和 49.00%。至开花后 23 d, 叶器官占总绿色面积的比例则降低至 47.60%, 42.98%, 44.01% 和 45.59%。说明非叶器官在籽粒形成期可能是籽粒充实的主要光合物质供给源。

3.2 不同光合器官的贡献率

不同光合器官对籽粒贡献的研究较多, Araus 等^[11] 根据同位素示踪和遮光处理试验, 发现硬粒小麦籽粒中的物质大部分来自穗器官, 穗光合对产量的贡献率在 59% 以上; Asane 和 Mani^[12] 的研究结果认为, 有芒品种穗的贡献率为 26%~35%, 叶鞘为 22%~44%, 叶为 20%~42%; 魏爱丽等^[13] 研究表明, 叶片对穗粒重的贡献作用从 15%~60% 不等, 穗在 8%~51%, 茎鞘在 1%~31%, 贮藏物质在 3%~33%; 对千粒重的贡献, 叶片在 17%~46%, 穗在 13%~37%, 茎鞘在 3%~24%, 贮藏物质在 15%~38%。也有许多学者^[4,5,9,14] 认为, 各器官的贡献以旗叶为最高, 而其余光合器官的同化能力, 有的认为是倒二叶> 穗下茎> 倒三叶> 穗部, 也有的认为是, 穗下茎> 穗部> 倒二叶> 倒三叶, 其报道的结果不尽一致。

本研究结果认为, 对于穗粒重的贡献率以叶器官最大, 茎鞘次之, 穗部最小, 对千粒重及穗粒数的贡献率则是茎鞘最大, 叶片和穗部的贡献率因品种不同存在差异。

3.3 叶器官的补偿效应

一般认为, 植株的部分绿色器官受损后其他器官具有一定的补偿作用^[14], 但这种补偿效应是一个比较复杂的问题, 它总是伴随一定条件而产生, 并且特定的条件下必然产生特定的结果。杜久元等^[9] 利用复杂的数学公式尝试计算不同光合器官的补偿作用, 但是对各品种不同处理的补偿效应也未能给出科学的定量评价。

本研究通过开花后 13 d 和开花后 23 d 的光合速率测定发现, 当某一叶片损失后, 剩余叶片有一定的光合补偿效应, 并以损失叶片相邻叶片的补偿效应较大, 但这种补偿力随时间的推移有逐渐减弱的趋势。

参考文献:

- [1] 阎素红, 杨兆生, 柴升. 小麦上三叶性状与产量及其构成因素的关系[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(4): 39—42.
- [2] 张娟, 崔党群, 范平, 等. 小麦冠层结构与产量及其构成因素的典范相关分析[J]. 华北农学报, 2000, 15(3): 39—44.
- [3] Borjévie S, William W A. Genotype environment interaction for leaf area parameters and yield component and their effect on wheat yield[J]. Crop Sci 1982, 22(5): 1020—1025.
- [4] 匡廷云. 作物光能利用效率与调控[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2003: 366—384.
- [5] 王志敏, 张英华, 张永平, 等. 麦类作物穗器官的光合性能研究进展[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(4): 136—139.
- [6] 于经川, 刘兆晔, 姜鸿明, 等. 植株展开度、穗幅宽与小麦产量关系的研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(增刊): 132—135.
- [7] 张永平, 王志敏, 吴永成. 节水高产栽培小麦品种光合性状分析[J]. 华北农学报, 2004, 19(3): 47—54.
- [8] 李宏伟, 王淑霞, 李滨, 等. 早衰和正常小麦近等基因系旗叶光合特性与产量比较研究[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1649—1655.
- [9] 杜久元, 周祥椿, 杨立荣. 不同小麦品种植株光合器官受损对单穗籽粒产量的影响及其补偿效应[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(1): 35—39.
- [10] Teare I D, Peterson C J. Surface area of chlorophyll containing tissue on the florescence of *Triticum aestivum* L[J]. Crop Science, 1971, 11: 627—628.
- [11] Araus J L, Brown H R, Feluero A. Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO₂ to differences in grain mass in durum wheat[J]. Plant Cell and Environment, 1993, 16: 383—392.
- [12] 盛承师. 小麦冠层形态结构与产量的关系[J]. 国外农学—麦类作物, 1986(4): 20—23.
- [13] 魏爱丽, 王志敏. 小麦不同光合器官对穗粒重的作用及其基因型差异研究[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(2): 57—61.
- [14] 刘万代, 尹钧, 朱高纪. 剪叶对不同穗型小麦品种干物质积累及籽粒产量的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(7): 1353—1360.