

## 栽培措施对小麦叶绿素含量及光合速率的影响

杨靖东<sup>1</sup>, 石小东<sup>2</sup>, 关雅楠<sup>2</sup>, 黄正来<sup>2\*</sup>

(1. 芜湖职业技术学院生物工程系, 芜湖 241006; 2. 安徽农业大学农学院, 合肥 230036)

**摘要:** 以扬麦 12 为材料, 在大田稻茬栽培条件下研究不同播量、行距及氮素运筹栽培措施对小麦叶绿素含量、光合速率及产量构成因素的影响。结果表明, 在施氮总量为 150~300 kg·hm<sup>-2</sup> 下, 基氮比例 60%、叶龄余数为 1 时追施 40% 氮肥处理时, 后期叶绿素含量明显高于全部基施氮肥; 基本苗 225 万·hm<sup>-2</sup> 时小麦产量极显著高于基本苗 300 万·hm<sup>-2</sup> 和 375 万·hm<sup>-2</sup>。

**关键词:** 扬麦 12; 栽培措施; 叶绿素含量; 光合速率

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)04-0580-05

### Effects of chlorophyll content and photosynthetic rate of wheat under different cultivation measures

YANG Jing-dong<sup>1</sup>, SHI Xiao-dong<sup>2</sup>, GUAN Ya-nan<sup>2</sup>, HUANG Zheng-lai<sup>2</sup>

(1. Wuhu Vocational Institute of Biological Engineering, Wuhu 241006; 2. School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** The effects of chlorophyll content, photosynthetic rate and constitution factor of yangmai 12 under different seedling rates, row spacing and nitrogen strategies were studied in rice cultivation condition. The results showed that the chlorophyll content of wheat at later stage with basal application of all nitrogen fertilizer was obviously lower than that under the total amount of nitrogen application of 150-300 kg·hm<sup>-2</sup> with base nitrogen proportion of 60%, and topdressing of 40% at the stage of foliar age remainder 1. The output of wheat grown under basic seedling of 2 250 000 per hm<sup>2</sup> was significant higher than that grown under basic seedling of 3 000 000 per hm<sup>2</sup> and 3 750 000 per hm<sup>2</sup>.

**Key words:** yangmai 12; cultivation measure; chlorophyll content; photosynthetic rate

合理的氮肥用量、运筹比例及施氮时期是小麦优质高产高效的一项重要栽培管理措施, 关于施氮量对小麦产量的影响, 前人已做了大量的研究报告<sup>[1-5]</sup>。黄正来等研究表明, 追氮时期对于小麦产量的影响显著, 表现为拔节、孕穗期追氮比返青、起身期追氮更能提高小麦产量, 其中拔节期追氮对小麦产量的提高尤为明显<sup>[6]</sup>。吴中伟等研究了, 在施氮量为 180 kg·hm<sup>-2</sup>、施氮方式为底肥:拔节肥=7:3 时, 套作小麦产量构成因素协调好, 产量最高<sup>[7]</sup>。小麦叶绿素含量、光合速率是产量的基本成因, 也是合理栽培措施重要评价指标。有研究表明, 叶绿素含量、光合速率与产量及产量构成要素均是正相关关系, 生殖生长期的平均光合速率与产量的相关

系数  $R$  为 0.9156, 达到极显著水平, 与穗粒数及千粒重的相关性也达到极显著水平。在孕穗期, 光合速率与产量及千粒重的相关性达显著水平<sup>[8]</sup>。杨文平等研究指出, 在一定范围内, 不同施氮处理下, 小麦旗叶中叶绿体色素含量随着施氮量的增加而升高, 说明施氮促进了叶绿体色素的合成, 施氮量越大, 这种效果越明显。不同处理旗叶中叶绿体色素含量都随小麦的生育进程而表现不同程度的下降<sup>[9]</sup>。田伟等研究指出, 在灌浆期间随着氮肥用量的递减叶片叶绿素含量、光合速率( $P_n$ ) 均呈下降趋势, 且随着时间的推移施氮量越少下降越快。合理施用氮肥, 适当推迟施用时间, 可明显提高叶片叶绿素含量和光合速率, 延长叶片功能期<sup>[10]</sup>。倪红山

收稿日期: 2013-06-08

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD16B06-3, 2012BAD04B09, 2012BAD14B13)资助。

作者简介: 杨靖东, 男, 副教授。

\* 通信作者: 黄正来, 男, 教授。E-mail: xdnnyjs@163.com

等研究发现, 氮肥基追比为 5:5 的处理郑麦 004 生育期间的株高、叶面积、旗叶光合速率、叶绿素含量等生理生态指标均有利于产量的形成<sup>[11]</sup>。另外有研究指出, 适量的施氮有利于提高小麦灌浆中、后期的旗叶光合速率、旗叶 PS II 实际光化学效率, 以及灌浆末期旗叶 PS II 最大光化学效率; 而施氮过多不仅不能继续提高旗叶光合速率, 而且使 PS II 实际光化学效率降低<sup>[12]</sup>。

目前, 针对不同栽培措施对小麦叶绿素含量及光合速率的影响的研究较多, 但是对安徽沿淮江淮地区生态环境下的小麦研究较少。本试验以适宜江淮地区种植的小麦品种扬麦 12 为材料, 研究行距、密度、全生育期施氮总量、基施氮素比例和拔节肥追施时期 5 个因素对小麦叶绿素含量、光合速率等生理指标及产量构成因素的影响, 为提高江淮地区稻茬小麦产量提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

试验于 2008-2010 年在安徽省天长市永丰镇乌

龙村进行, 供试品种为扬麦 12。前茬为水稻, 土质为黄褐土, 土壤速效氮 126.1 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 56.7 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验设计

选择影响机条播小麦高产的 5 个关键农艺因素即行距、密度、全生育期施氮总量、基施氮素比例、拔节、肥追施时期(叶龄), 采用正交设计 L<sub>18</sub>(2×3<sup>4</sup>), 共 18 个处理, 3 次重复, 每小区行长 1.8、2.4、3.0 m (12 行), 宽 3.0 m, 小区面积 5.4、7.2 和 9.0 m<sup>2</sup>。各因素具体处理见表 1。

### 1.3 测定项目与方法

叶绿素含量测定: 采用丙酮提取法。分别于分蘖期、拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期、乳熟期及成熟期取倒二、倒三叶, 剪碎放置于 50 mL 盛有 80%丙酮的容量瓶中, 加塞置于暗处 24 h, 待材料完全变白后, 测定光密度值。

光合速率测定: 采用英国 PP-System 公司生产的 TPS—1 便携式光合作用测定系统测定小麦叶片的净光合速率 (Pn)。在不同生育期测定小麦叶片净光合速率, 测定时间上午 10:00~11:00。

表 1 试验因素水平及编码  
Table 1 Factors and levels of experiment

水平 Level	因素 Factor				
	行距/cm Row spacing	基本苗 /×10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> Basic seedling	施氮总量/kg·hm <sup>-2</sup> Total nitrogen application	基施氮比例/% Based application nitrogen ratio	追氮叶龄余数 Foliar age remainder when topdressing nitrogen fertilizer
1	15	225	150	100	2
2	20	300	225	80	1
3	25	375	300	60	

### 1.4 数据统计分析方法

采用数量性状和质量性状综合方差分析、用 SPSS13.0 及 SAS 软件对多因素多水平 (五因素) 进行多元统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 栽培措施对扬麦 12 叶绿素含量的影响

小麦产量的形成是通过植物体叶片将光能转变为化学能—生产有机物质的过程。而叶片内的叶绿素是作物光合作用的物质基础, 叶绿素含量的高低直接影响到叶片的光合能力。

从表 2 可以看出, 在小麦生长的整个时期, 叶绿素的变化趋势大致可以分成分蘖至拔节期的迅速上升期、孕穗至灌浆期的平顶期、灌浆到乳熟期的速降期以及乳熟到成熟期的缓降期。试验表明, 不同处理叶片叶绿素含量均于开花期达到高峰, 以后

不断下降。氮肥全部底施(基施氮比例 100%)在生育后期叶片中叶绿素含量均低于基施氮比例为 80%、60%, 并且迅速下降期也早于基施氮比例为 80%、60%处理。各追氮处理之间相比, 基施氮比例 60%、80%追肥效果优于基施氮比例 100%; 这说明拔节期追施氮肥可使旗叶保持较高的叶绿素含量, 适量氮肥供应, 追肥时期的后移有利于叶绿素含量的增加。

### 2.2 栽培措施对扬麦 12 光合速率的影响

由表 3 可以看出, 相同处理下, 小麦旗叶光合速率在分蘖期至返青期光合速率较低, 在返青至孕穗期光合速率不断增加, 灌浆期光合速率达到最大值, 以后逐渐降低。在不同处理之间, 小麦叶片光合速率在分蘖期、返青期和乳熟期变化幅度不大, 在 5.1~6.9 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 之间, 其他生育期光合速率的变化幅度较大, 在 18.2~24.9 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 之间。但总体上来说, 不同处理之间叶片光合速率处理 7>

处理 14>处理 1>处理 17。这说明在相同密度和行距下,随着施氮量的增加小麦叶片光合速率呈增加的趋势,但在分蘖期至拔节期增加量较小,而在拔节至灌浆期增加量较大。在相同的施氮总量下,行距越小、密度越高,小麦各个时期叶片光合速率越低。

其中行距 15 cm、密度 375 万·hm<sup>-2</sup> 时各个时期的叶片光合速率最低。施氮量 300 kg·hm<sup>-2</sup> 时各个时期的叶片光合速率较高,在相同的施氮量下,基氮比例 60%,在追氮-叶龄余数为 1 追加 40%的氮肥时光合速率明显比基施氮比例 100%时要高。

表 2 不同处理各生育期叶绿素含量

Table 2 The chlorophyll contents of different treatments at different development periods mg·g<sup>-1</sup>

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage (12-15)	拔节期 Jointing stage (03-16)	孕穗期 Booting stage (04-18)	开花期 Flowering stage (05-03)	灌浆期 Filling stage (05-12)	乳熟期 Milk stage (05-20)	成熟期 Mature stage (05-29)
1	0.88	1.59	2.53	3.07	2.39	0.84	0.17
2	0.94	1.63	2.59	3.10	2.42	0.91	0.23
3	0.93	1.56	2.47	2.98	2.30	0.87	0.20
4	0.92	1.74	2.68	3.24	2.56	0.84	0.17
5	1.03	1.84	2.79	3.31	2.63	0.99	0.32
6	0.84	1.33	2.34	2.85	2.17	0.79	0.12
7	1.01	1.89	2.83	3.34	2.66	0.97	0.30
8	0.78	1.32	2.26	2.77	2.09	0.73	0.06
9	0.97	1.42	2.31	2.79	2.11	0.93	0.26
10	0.94	1.44	2.38	2.89	2.21	0.90	0.23
11	0.96	1.47	2.44	2.92	2.24	0.96	0.29
12	0.87	1.41	2.35	2.86	2.18	0.82	0.15
13	0.84	1.29	2.22	2.73	2.05	0.70	0.12
14	1.02	1.68	2.62	3.12	2.44	0.99	0.32
15	0.88	1.59	2.50	3.01	2.33	0.84	0.17
16	0.99	1.36	2.31	2.79	2.11	0.94	0.27
17	0.76	1.31	2.28	2.76	2.08	0.72	0.05
18	1.02	1.78	2.74	3.22	2.54	0.96	0.29

表 3 不同处理各生育期叶片光合速率的变化

Table 3 The changes of photosynthetic rate with different treatments at different development periods  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

处理 Treatment	分蘖期 Tillering stage (12-15)	返青期 Green stage (02-12)	拔节期 Jointing stage (03-16)	孕穗期 Booting stage (04-18)	开花期 Flowering stage (05-03)	灌浆期 Filling stage (05-12)	乳熟期 Milk stage (05-20)
1	5.9	6.2	10.6	16.9	20.5	23.2	5.6
2	6.3	6.5	10.9	17.3	20.7	23.1	6.0
3	6.2	6.6	10.4	16.5	19.9	22.4	5.8
4	6.0	6.2	11.6	17.9	21.6	24.1	5.6
5	6.9	7.4	12.3	18.6	22.1	24.8	6.6
6	5.6	5.8	8.9	15.6	19.0	21.5	5.3
7	6.7	6.8	12.6	18.9	22.3	24.9	6.5
8	5.2	5.4	8.8	15.1	18.5	21.0	4.9
9	6.5	6.7	9.5	15.4	18.6	21.1	6.2
10	6.3	6.5	9.6	15.9	19.3	21.8	6.0
11	6.4	6.5	9.8	16.3	19.5	22.1	6.4
12	5.8	6.1	9.4	15.7	19.1	21.6	5.5
13	5.6	6.0	8.6	14.8	18.2	20.6	5.3
14	6.8	7.1	11.2	17.5	20.8	23.3	6.6
15	5.9	6.2	10.6	16.7	20.1	22.5	5.6
16	6.6	6.9	9.1	15.4	18.6	21.1	6.3
17	5.1	5.6	8.7	15.2	18.4	20.8	4.8
18	6.7	6.9	11.9	18.3	21.5	24.1	6.4

表 4 不同栽培措施对扬麦 12 产量及构成因素的影响

Table 4 The effects of constitution factor of yangmai 12 under different cultivation measures

因素 Factor	水平 Level	成穗数 /万·hm <sup>-2</sup> Spike number	穗粒数(粒/穗) Kernels per spike	千粒重/g 1000-kernel weight	容重/g·L <sup>-1</sup> Unit weight	产量 /kg·hm <sup>-2</sup> Yield
行距/cm Row spacing	15	483.15 <sup>aA</sup>	37.19 <sup>AaB</sup>	34.02 <sup>aA</sup>	763.12 <sup>bB</sup>	6 519.5 <sup>abAB</sup>
	20	476.25 <sup>aA</sup>	37.28 <sup>aA</sup>	34.51 <sup>aA</sup>	775.38 <sup>aA</sup>	6 721.7 <sup>aA</sup>
	25	463.35 <sup>aA</sup>	35.95 <sup>bB</sup>	33.92 <sup>aA</sup>	767.41 <sup>bAB</sup>	6 370.2 <sup>bB</sup>
基本苗/万·hm <sup>-2</sup> Basic seedling	225(186)	518.25 <sup>aA</sup>	38.73 <sup>aA</sup>	35.96 <sup>aA</sup>	772.22 <sup>aA</sup>	7 895.4 <sup>aA</sup>
	300(267)	482.12 <sup>bB</sup>	37.36 <sup>bB</sup>	33.64 <sup>bB</sup>	767.28 <sup>aA</sup>	6 459.8 <sup>bB</sup>
	375(312)	459.31 <sup>cB</sup>	34.32 <sup>cC</sup>	32.84 <sup>cB</sup>	766.42 <sup>aA</sup>	5 356.5 <sup>cC</sup>
施氮总量 kg·hm <sup>-2</sup> Total nitrogen application	150	406.65 <sup>cC</sup>	33.94 <sup>cC</sup>	32.51 <sup>cB</sup>	770.90 <sup>aA</sup>	4 906.1 <sup>cC</sup>
	225	483.31 <sup>bB</sup>	37.56 <sup>bB</sup>	34.58 <sup>Ab</sup>	773.06 <sup>aA</sup>	6 793.5 <sup>bB</sup>
	300	532.65 <sup>aA</sup>	38.91 <sup>aA</sup>	35.35 <sup>aA</sup>	775.95 <sup>bA</sup>	7 917.9 <sup>aA</sup>
基施氮比例/% Based application nitrogen ratio	100	468.33 <sup>aA</sup>	36.60 <sup>aA</sup>	33.97 <sup>aA</sup>	765.74 <sup>aA</sup>	6 724.8 <sup>aA</sup>
	80	480.01 <sup>aA</sup>	36.70 <sup>aA</sup>	34.40 <sup>aA</sup>	769.36 <sup>aA</sup>	6 828.8 <sup>aA</sup>
	60	504.45 <sup>bB</sup>	36.82 <sup>aA</sup>	34.07 <sup>aA</sup>	771.81 <sup>aA</sup>	6 018.3 <sup>bB</sup>
追氮叶龄余数 Foliar age remainder when topdressing nitrogen fertilizer	1	498.75 <sup>aA</sup>	37.85 <sup>aA</sup>	34.25 <sup>aA</sup>	768.98 <sup>aA</sup>	7 048.7 <sup>aA</sup>
	2	450.45 <sup>bB</sup>	35.76 <sup>bB</sup>	34.05 <sup>aA</sup>	767.19 <sup>aA</sup>	5 984.6 <sup>bB</sup>

注: 表中数据为平均值。数据后字母小写表示 0.05 水平上差异显著, 大写表示 0.01 水平上差异极显著。

Notes: Small or capital letters indicate the different at 5% or 1% levels, respectively.

### 2.3 产量及构成因素分析

表 4 结果表明, 不同种植密度下的施肥能极显著地影响小麦产量, 随施肥量的增加, 各种种植密度的小麦产量出现不同程度的升高; 各施肥水平下不同种植密度的小麦产量均表现出一定密度效应, 低密度的小麦产量极显著高于中、高种植密度; 行距 15 cm、25 cm 对产量的影响不显著, 而这两水平和行距 20 cm 水平间对产量的影响显著。基本苗、施氮总量和追氮-叶龄余数对产量的影响显著。基施氮比例 100% 和 80% 水平间对产量的影响不显著, 而 60% 和两水平间对产量影响显著。不同因素不同水平间对产量的影响显著。在相同的施肥量下, 基本苗越大产量越低, 在相同的基本苗下, 随着施氮量的增加, 产量增加。5 个因素不同水平组合中对产量的影响, 组合行距 25 cm、基本苗 300 万·hm<sup>-2</sup>、施氮总量 300 kg·hm<sup>-2</sup>、基施氮比例 60% 和追氮-叶龄余数为 1 时最好, 小麦产量达到 7 917.9 kg·hm<sup>-2</sup>。

### 3 讨论

本试验研究结果表明: (1) 不同基追比处理对小麦在相同的施氮总量下, 行距越小、密度越高, 小麦叶绿素含量越低; 在相同密度和行距下, 随着施氮量的增加, 小麦叶片叶绿素含量呈增加的趋势; 施氮量 300 kg·hm<sup>-2</sup> 时, 叶绿素含量较高。(2) 小麦旗叶光合速率随施氮量的增加而增加。不同基追比

处理对小麦各时期光合速率影响的强弱依次是基追比 6:4>8:2>10:0; 在拔节期前, 3 个水平之间没有显著差异, 但自开花期开始, 三水平之间存在显著差异, 并且在灌浆期间差异极显著; 随着施氮量增加和追肥时期的后移光合速率逐渐增大。

冬前气温较高, 种子根活力旺盛, 植株光合能力强, 进入越冬期, 气温下降, 酶活性降低, 叶绿素含量急剧上升; 拔节至孕穗期, 叶绿素含量继续增长, 但幅度比分蘖至拔节期小, 到孕穗、扬花期达到最大之后, 由于新“库”——籽粒的形成, 生殖生长占优势, 叶片等营养器官逐渐停止生长, 加上高温对叶绿体的破坏作用, 叶绿素含量逐渐减少; 乳熟过后, 这种现象更为明显, 成熟期几乎降为零。由于分蘖至拔节期叶绿素上升的速度反映了小麦前期生长速率随环境温度的上升恢复的快慢, 而由灌浆至乳熟的下降速率则反映了叶片后期衰老的速率快慢。因此, 整个生育期内叶绿素的变化应该呈现前快、中平、后慢的特点。

在分蘖期至返青期, 由于温度较低, 光合作用需要的各种酶活性较低, 同时植株单位叶面积小, 光照强度小, 从而导致光合速率小。从返青期至孕穗期, 随着温度回升, 植株单位叶面积迅速增加以及光照强度的加强, 小麦叶片光合速率不断上升。到了开花期, 小麦旗叶完全展开, 再加上光合产物从“源”到“库”的转移, 提高了叶片的光合速率,

到了灌浆期光合速率达到最高峰值。灌浆期以后, 温度较高, 光合作用酶活性降低, 加上小麦植株的各个器官生理功能的衰退, 从而使叶片光合速率降低。

### 参考文献:

- [1] 姜丽娜, 郑冬云, 王言景, 等. 氮肥施用时期及基追比对豫中地区小麦叶片生理及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(1): 149-153.
- [2] 朱新开, 郭凯泉, 李春燕, 等. 氮肥运筹比例对稻田套播强筋小麦产量及花后旗叶衰老的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(5): 900-904.
- [3] 姜丽娜, 贺远, 邵云, 等. 氮肥运筹对豫中地区冬小麦旗叶生理及籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(5): 875-881.
- [4] 樊高琼, 吴中伟, 郑亭, 等. 氮肥运筹对四川丘陵旱地带状种植小麦碳素同化、运转和产量的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 238-243.
- [5] 黄正来, 胡霞, 马传喜. 追施氮肥对皖麦 48 产量及主要品质性状的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(3): 426-430.
- [6] 吴安昌, 黄正来, 吴延华. 追氮时期对不同小麦品种光合特性和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 342-345.
- [7] 吴中伟, 樊高琼, 王秀芳, 等. 氮肥运筹对四川丘陵区机播套作小麦群体质量及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 18-26.
- [8] 徐帆, 李茂松, 王春艳, 等. 充分与非充分灌溉条件下冬小麦光合速率与产量关系[J]. 中国农业气象, 2009, 30: 60-63.
- [9] 杨文平, 王春虎, 王保娟. 拔节期追氮对小麦百农矮抗 58 旗叶光合色素含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 73-75.
- [10] 田伟, 刘艳侠, 郭振升, 等. 不同氮肥处理对小麦花后光合性能及产量构成的影响[J]. 商丘职业技术学院学报, 2011, 10(5): 93-96.
- [11] 倪红山, 郑钦玉, 李锋. 氮肥不同基追比对郑麦 004 生理生态特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11078-11080; 11083.
- [12] 赵俊晔, 于振文. 施氮量对小麦旗叶光合速率和光化学效率、籽粒产量与蛋白质含量的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5): 92-96.