

# 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

朱新开, 郭凯泉, 李春燕, 封超年, 彭永欣, 郭文善

(扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室/扬州大学小麦研究所, 江苏扬州 225009)

**摘要:** 为给稻田套播小麦优质高产栽培提供理论依据,在江苏淮北地区通过大田试验,研究氮肥运筹比例对稻田套播强筋小麦花后旗叶叶绿素含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量和籽粒产量的影响。结果表明,在总施氮量( $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )相同条件下,随拔节肥和孕穗肥施氮比例的上升,小麦产量、氮肥偏生产力(PFP)和氮肥农学效率(NAE)逐渐升高,但后期施肥比例过高,产量有所下降,以基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥为3:3:2:2的处理籽粒产量、PFP和NAE最高。随花后生育进程的推移,小麦旗叶叶绿素含量和SOD活性呈单峰曲线变化,MDA含量呈上升趋势。随拔节肥和孕穗肥施用比例的提高,旗叶叶绿素含量和SOD活性下降速率减缓,MDA含量上升速率也减缓。本试验条件下,基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥施用比例为3:3:2:2的氮肥运筹方式有利于减缓花后旗叶衰老,提升氮肥利用效率,提高粒重和产量。

**关键词:** 强筋小麦;稻田套播;氮肥运筹比例;旗叶衰老;产量

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2010)05-0900-05

## Effects of N Application Ratio on Grain Yield and Flag Leaf Senescence Characteristics of Strong-gluten Wheat Interplanted in Paddy Field

ZHU Xin-kai, GUO Kai-quan, LI Chun-yan, FENG Chao-nian, PENG Yong-xin, GUO Wen-shan

(Jiangsu Provincial Key Lab of Crop Genetics and Physiology/ Wheat Research

Institute, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

**Abstract:** Wheat interplanted in paddyfield, which was a light and predigesting cultivation method, was applied widely in rice and wheat growing areas. The effects of different N application ratio on chlorophyll content, SOD activity, MDA content in flag leaves after anthesis and grain yield in strong-gluten wheat interplanted in paddyfield were studied. Grain yield, partial factor productivity of applied N (PFP) and nitrogen agronomic efficiency (NAE) increased as the proportion of jointing and booting N fertilizer increased, but decreased when the ratio of jointing and booting N fertilizer was too high. Chlorophyll content and SOD activity in flag leaves showed a single peak curve, the maximum value appeared in the period from the 7th to the 14th day after anthesis, and MDA content in flag leaves increased after anthesis. The declining rate of chlorophyll content, SOD activity and the increasing rate of MDA content decreased when the ratio of nitrogen applied at elongation and booting stages increased. In order to get high grain yield and NUE, the suitable nitrogen application ratio (base: tillering: elongation: booting) was 3:3:2:2 for interplanted strong-gluten wheat in paddy field.

**Key words:** Strong-gluten wheat; Interplanting in paddy field; Senescence of flag leaf; Yield

\* 收稿日期:2010-01-30 修回日期:2010-05-30

**基金项目:**国家自然科学基金项目(30971729);国家公益性行业(农业)科研专项(200803030);江苏省科技支撑计划项目(BE2009426);江苏省农业三项工程项目(sx[2008]zs07, sx[2009]zs08)。

**作者简介:**朱新开(1968—),男,博士,副教授,主要从事作物营养生理、农业信息与优质高产高效栽培技术研究。E-mail: xkzhu@yzu.edu.cn

**通讯作者:**郭文善(1961—),男,博士,教授,主要从事作物优质高产高效栽培技术研究。E-mail: guows@yzu.edu.cn

近年来,随着江苏省淮北稻茬麦区偏晚熟粳稻的大面积推广,水稻收获期迟于小麦的适播期,造成稻麦生产季节性矛盾加大<sup>[1]</sup>。为了保证小麦能适期播种,稻田套种已成为一种解决小麦晚播的种植方式,并在生产中应用。据江苏省统计局统计,2007和2008年稻田套播小麦种植面积达 $40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,约占全省小麦种植面积的20%左右。许多科技工作者对稻田套种小麦生育特点和栽培技术开展了研究,如董百舒等<sup>[2]</sup>提出了套种共生期长短和套种肥是稻田套播小麦保壮苗、促早蘖、争早苗的主要措施;张善交等<sup>[3]</sup>、张山泉等<sup>[4]</sup>提出稻田套播小麦播前多效唑拌种和灌一次跑马水是保证足墒、一次壮苗的重要技术环节;张洪程等<sup>[5]</sup>根据多年试验与示范结果,总结提出了稻田套播小麦生长发育与产量形成的特点,明确了高产高效稻田套播小麦的生育特征;刘世平等<sup>[6]</sup>探索了免耕套种对小麦田生境和生育特性的影响;张军等<sup>[7]</sup>提出了稻田套播中筋小麦适宜的氮肥运筹方式。这些研究结果对稻田套播小麦的生产起到了一定的技术支撑。

稻田套播小麦由于根系分布较浅,土壤养分表层富集<sup>[5-6]</sup>,小麦生育后期叶片易衰老,目前已成为稻田套播小麦生产中突出的问题之一。而小麦生育后期营养器官衰老与籽粒灌浆同步进行,后期叶片的衰老缩短了有效光合时间,降低了光合速率,影响籽粒的发育和产量的形成,因而采用适宜的栽培措施,提升花后叶片光合功能,延缓花后叶片衰老,使之能持续高效地为籽粒输送光合产物,是提高稻田套播小麦产量的有效途径之一<sup>[8]</sup>。目前关于稻田套播强筋小麦氮肥运筹比例的研究较少。鉴于此,本试验通过研究氮肥运筹比例对稻田套播强筋小麦生育后期旗叶衰老特性的影响,以期明确稻田套播强筋小麦高产的适宜氮肥运筹比例,为其优质高产栽培提供理论依据。

## 1 材料与方 法

试验于2005—2006年在扬州大学农学院试验基地徐州铜山沿湖农场进行,试验地土壤碱解氮含量 $88.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷含量 $26.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾含量 $98.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试品种为强筋小麦品种烟农19,稻田撒播套种,稻麦共生期10 d。

### 1.1 试验设计

采用单因素随机区组设计,氮肥运筹方式设

基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥为6:1:3:0、5:1:4:0、5:1:2:2、3:3:2:2和3:3:1:3共5个处理(编号依次为I、II、III、IV、V),施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,基肥于播种前套施,分蘖肥于4.5叶期施,拔节肥于叶龄余数2.5叶期施,孕穗肥于叶龄余数0.8~1.2叶期施,并设不施氮肥处理为对照;氮肥:磷肥( $\text{P}_2\text{O}_5$ ):钾肥( $\text{K}_2\text{O}$ )施用比例为1:0.6:0.6,磷、钾肥基施。2005年10月11日套播,基本苗 $240 \times 10^4 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,水稻收获后开沟土覆盖。小区面积 $30 \text{ m}^2$ ,重复3次。

### 1.2 测定项目与方法

#### 1.2.1 产量及其构成因素测定

成熟期每小区割 $2 \text{ m}^2$ 计产并测定穗数、粒数、粒重、每穗结实小穗数和退化小穗数。

#### 1.2.2 干物质积累、茎蘖动态、叶面积指数测定

分别于五叶期、拔节期、孕穗期、开花期和成熟期每小区取样20株,测定叶面积、茎蘖数,样品 $105^\circ\text{C}$ 杀青, $65^\circ\text{C}$ 烘干后称干重。

#### 1.2.3 旗叶 SPAD 值测定

于开花期、花后7 d、14 d、21 d、28 d用日本产SPAD-502型叶绿素仪测定旗叶SPAD值,重复5次。

#### 1.2.4 旗叶丙二醛(MDA)含量测定

开花后每隔5 d取旗叶样,用硫代巴比妥酸法测定旗叶中丙二醛(MDA)含量,重复3次。

#### 1.2.5 旗叶超氧化物歧化酶(SOD)活性测定

开花后每隔5 d取旗叶样,用比色法测定旗叶中超氧化物歧化酶(SOD)活性,重复3次。

### 1.3 数据统计与分析

数据应用Excel 2003程序和SPSS 11.5统计分析软件处理。

氮素养分效率计算方法如下:

氮肥偏生产力(PFP,  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) = 施氮区产量/施氮量

氮肥农学效率(NAE,  $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) = (施氮区产量 - 无氮空白区产量)/施氮量

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥运筹对稻田套播强筋小麦产量形成的影响

#### 2.1.1 对籽粒产量的影响

氮肥运筹对稻田套播强筋小麦烟农19产量影响显著(表1)。随拔节肥和孕穗肥施氮比例的

上升,产量逐渐增加,但后期施肥比例过高,产量有所下降,以基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥为3:3:2:2的处理籽粒产量最高,5:1:2:2和3:3:1:3处理籽粒产量次之。进一步分析表明,不同氮肥运筹处理间穗数和每穗结实粒数

随拔节肥和孕穗肥施氮比例提高而增加,处理间差异未达显著水平;千粒重则随着拔节肥和孕穗肥施氮比例的上升而增加,处理间差异显著,以3:3:1:3处理最高。

表1 氮肥运筹比例对小麦籽粒产量的影响  
Table 1 Effects of N application ratio on grain yield

处理号 Code of treatment	基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥 Base:tillering:elongation:booting	穗数 Ears /(10 <sup>4</sup> spikes·hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000 grain weight /g	籽粒产量 Grain yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
CK	0	401.45b	14.15b	49.39a	2 326.16d
I	6:1:3:0	573.29a	27.35a	44.78d	6 310.65b
II	5:1:4:0	555.75a	26.15a	46.80c	6 120.56c
III	5:1:2:2	578.27a	27.01a	47.18c	6 488.24ab
IV	3:3:2:2	592.55a	27.45a	47.96b	6 646.66a
V	3:3:1:3	569.78a	27.69a	48.29b	6 525.76a

同列数据后字母不同表示处理间差异显著。

The same letters after values with in the same column represent the difference significance among treatments at the 0.05 level.

2.1.2 对氮肥利用效率的影响

从不同氮肥运筹条件下的氮肥利用效率来看,氮肥偏生产力(PFP)和氮肥农学效率(NAE)随拔节肥和孕穗肥施氮比例的提高而提高,但孕穗肥施用比例过高,PFP和NAE则有所降低(图1)。说明适宜的氮肥运筹比例能提高稻田套播强筋小麦植株对氮素的吸收利用,并提高氮肥利用效率,减少氮肥损失,减轻环境污染。

稻田套播小麦花后物质生产能力,增加花后干物质积累量,有利于增加籽粒产量。

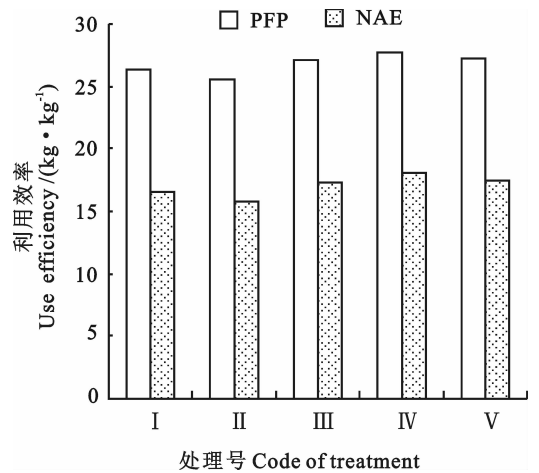


图1 氮肥运筹对小麦氮肥利用效率(PEP和NAE)的影响

Fig. 1 Effects of N application ratio on PFP and NAE

2.1.3 对生物产量的影响

随拔节肥和孕穗肥施氮比例的提高,稻田套播强筋小麦成熟期干物质积累量和花后干物质积累量均显著提高,如与基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥为6:1:3:0处理相比,基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥为3:3:2:2的处理成熟期干物质积累量增加了5.87%,花后干物质积累量提高了3.10%(表2)。说明适当氮肥后移,可提高

表2 氮肥运筹对小麦生物产量的影响

Table 2 Effects of N application ratio on biomass

处理号 Code of treatment	基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥 Base:tillering:elongation:booting	成熟期干物重 Dry matter weight at maturity/(kg·hm <sup>-2</sup> )	花后干物质积累量 Dry matter accumulation after anthesis (DMAA)/(k·hm <sup>-2</sup> )	花后干物质积累重占产量比例 Ratio of DMAA on grain yield/%
CK	0	4 812.8	1 369.6	58.88
I	6:1:3:0	1 3672.6	5 495.4	87.08
II	5:1:4:0	1 3687.3	5 408.9	88.37
III	5:1:2:2	1 4016.1	5 537.3	85.34
IV	3:3:2:2	1 4960.8	5 856.0	88.10
V	3:3:1:3	1 4476.5	5 605.3	85.89

## 2.2 氮肥运筹对稻田套播强筋小麦花后旗叶衰老特性的影响

### 2.2.1 对旗叶 SPAD 值的影响

试验结果表明, 稻田套播小麦旗叶 SPAD 值随花后天数的推移呈先升高再下降的变化趋势, 在花后 7 d 之后开始逐渐下降, 花后 21~28 d 下降最快, 降幅最大, 不同氮肥运筹条件下变化趋势均一致。随拔节肥和孕穗肥施氮比例的提高, 旗叶 SPAD 值增加, 衰减速度亦减缓(图 2)。说明氮肥适当后移有利于减缓花后叶绿素的降解速度, 可有效地延缓了植株后期的早衰, 有利于增强花后光合作用和提高光合物质的生产与运转能力, 增加粒重。

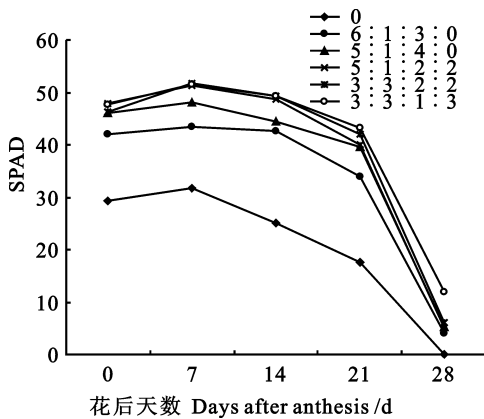


图 2 氮肥运筹对小麦旗叶 SPAD 值的影响

Fig. 2 Effects of N application ratio on SPAD value in flag leaves

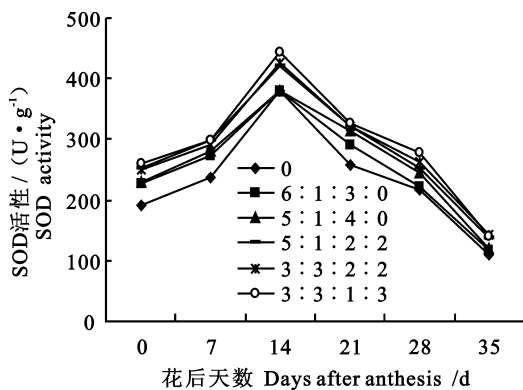


图 3 氮肥运筹对小麦旗叶 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effects of N application ratio on SOD activity in flag leaves

### 2.2.2 对旗叶超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

从开花至成熟, 稻田套播强筋小麦旗叶 SOD 酶活性呈现“单峰”曲线变化, 于花后 14 d 达峰

值, 之后逐渐下降, 不同氮肥运筹条件下变化趋势基本一致, 但旗叶 SOD 活性高低存在差异, 表现为随拔节肥和孕穗肥施氮比例的提高, SOD 活性增强, 追施孕穗肥的处理 SOD 活性明显高于未施孕穗肥处理(图 3)。说明氮肥后移, 能提高花后旗叶 SOD 活性, 增强植株清除活性氧的能力, 抑制光合色素的破坏, 延缓旗叶早衰, 有利于叶片保持较高水平和较长时间的光合作用, 促进产量的形成和提高。

### 2.2.3 对旗叶丙二醛(MDA)含量的影响

不同氮肥运筹条件下, 稻田套播强筋小麦旗叶 MDA 含量均随花后天数的推移呈逐渐上升的趋势, 花后 28~35 d 上升最快, 增幅最大, 植株衰老加剧。不同氮肥运筹比例处理的植株旗叶 MDA 含量存在差异, 且主要表现在花后 28~35 d, 表现为随拔节肥和孕穗肥施氮比例的提高, MDA 含量降低(图 4)。说明氮肥后移能降低膜脂过氧化水平, 延缓叶片衰老。

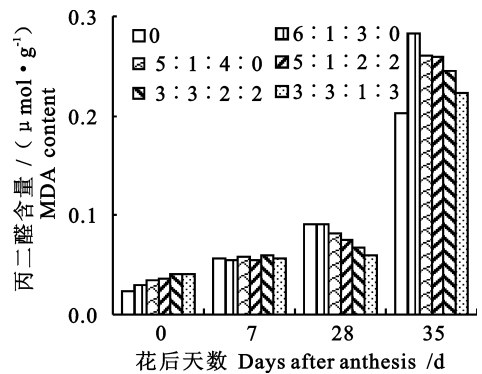


图 4 氮肥运筹对小麦旗叶 MDA 含量的影响

Fig. 4 Effects of N application ratio on MDA content in flag leaves

## 3 讨论

小麦籽粒产量是光合物质生产、同化物运输和籽粒发育对同化物的利用等综合作用的结果, 延缓小麦生育后期特别是花后的叶片衰老, 能为籽粒输送更多的光合产物, 提高小麦产量。基因型<sup>[10]</sup>、生态条件<sup>[11]</sup>、密度<sup>[12]</sup>、肥料<sup>[13-15]</sup>、地膜覆盖<sup>[16]</sup>等措施对小麦花后叶片衰老特性均有影响。王晨阳等<sup>[17]</sup>研究表明不同追肥处理影响后期旗叶 SOD 活性, 随追氮时期的推移, 植株体内 SOD 活性增强; 李春喜等<sup>[18]</sup>研究表明, 中后期适量追肥可明显抑制叶绿素的降解, 并使植株体内保持高水平的保护酶活性, 降低后期细胞膜脂过氧化

水平,从而在一定程度上延缓了叶片的衰老;王蔚华等<sup>[14]</sup>研究认为,氮肥基肥与追肥施用比例为5:5时,可有效延长旗叶功能期,提高粒重。而稻田套种条件下的氮肥运筹比例,不同研究者提出的结果不一致。张山泉等<sup>[18]</sup>在淮安采用中筋小麦博爱7422试验,建议施氮量 $225\sim 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其中种肥可占10%或不施,苗肥30%~40%,壮蘖肥20%~25%,腊肥或返青肥25%~30%,穗肥10%~15%;陈川等<sup>[19]</sup>等认为,淮安地区稻田套播麦冬前的施氮量的60%~70%,30%作起身肥,10%作穗肥;张军等<sup>[7]</sup>在扬州采用中筋小麦扬麦10号研究表明,在施氮水平 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、基蘖肥与拔节肥的比例为5:5的情况下达到 $6\ 100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上的高产水平。本试验结果表明,在当前土壤地力水平下,稻田套种强筋小麦,施氮量 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥施用比例为3:3:2:2的处理,能有效减缓花后叶片叶绿素的降解速度,延缓花后叶片MDA的增加速度,增加SOD活性,延缓旗叶衰老,提高产量,是最优化的氮肥运筹方式。这与前人关于增加中后期施氮延缓叶片衰老和增产的研究结果基本一致。但与前人研究相比,稻田套种强筋小麦更应强调施用孕穗肥,减少或不施腊肥,以实现产量和品质的同步改善。

#### 参考文献:

- [1]张洪程. 稻田套播小麦高产轻型栽培技术[J]. 农村实用技术与信息, 2001(1):21.
- [2]董百舒,夏源陵. 套播麦立苗生境特点及相应栽培措施[J]. 江苏农业科学, 1993(4):12-14.
- [3]张善交,郑昭阳,耿得亮,等. 稻麦双撒套亩产超吨粮一稻麦耕作改制综合配套技术[J]. 作物杂志, 1992(4):22-23.
- [4]张山泉,董百舒. 淮北稻套麦栽培技术改进[J]. 江苏农业科学, 1993(5):12-13.
- [5]张洪程,戴其根,钟明喜,等. 稻田套播麦高产高效轻型栽培技术研究[J]. 江苏农学院学报, 1994, 15(4):19-23.
- [6]刘世平,张洪程,戴其根,等. 免耕套种与秸秆还田对农田生态环境及小麦生长的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2):393-396.
- [7]张军,张洪程,戴其根,等. 稻田套播和氮素对中筋小麦产量和品质的调节效应[J]. 中国农学通报, 2006, 22(8):173-177.
- [8]Mahalakshmi V, Bidinger F R. Evaluation of stay green sorghum germplasm lines at ICRISAT[J]. Crop Science, 2002, 42:965-974.
- [9]罗培高,任正隆,吴先华,等. 延缓小麦衰老的结构和生物化学机制[J]. 科学通报, 2006, 51(18):2154-2160.
- [10]Thomas H, Howarth C J. Five ways to stay green[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51:329-337.
- [11]靳奇峰,牛俊义. 小麦叶片衰老因素的研究进展与展望[J]. 甘肃农业科技, 2003(2):17-19.
- [12]王志和,姜丽娜,李春喜,等. 种植密度和植物生长调节剂对小麦衰老及产量构成的影响[J]. 作物杂志, 2003(2):15-17.
- [13]李春喜,姜丽娜,代西梅,等. 小麦氮素营养与后期衰老关系的研究[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(2):39-41.
- [14]王蔚华,郭文善,封超年,等. 氮肥运筹对小麦花后旗叶衰老及籽粒发育的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2002, 23(4):61-65.
- [15]李春燕,封超年,张容,等. 密度、氮肥对优质弱筋小麦宁麦9号旗叶早衰的调控效应[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(5):60-64.
- [16]牛一川,姚天明,安建平,等. 地膜覆盖栽培对冬小麦衰老进程的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3):90-92.
- [17]王晨阳,朱云集,夏国军,等. 氮肥后移对超高产小麦产量及生理特性的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(6):978-983.
- [18]张山泉,陈川,庄春. 稻田套播麦的氮肥运筹技术研究[J]. 作物杂志, 2003(1):29-31.
- [19]陈川,丁国霞,钟平,等. 淮北稻田套播麦的主要生育特点与施肥技术[J]. 江苏农业科学, 2008(1):26-28.