

# 种植方式对水稻和陆稻氮素吸收利用的影响

张亚洁 林强森 孙 斌 刁广华 杨建昌\*

(扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009; \* 通讯联系人, E-mail:jcyang@yzu.edu.cn)

## Effects of Cultivation Methods on Nitrogen Absorption and Use Efficiency of Upland and Paddy Rice

ZHANG Ya-jie, LIN Qiang-sen, SUN Bin, DIAO Guang-hua, YANG Jian-chang\*

(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology, Jiangsu Province; Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; \* Corresponding author, E-mail:jcyang@yzu.edu.cn)

**Abstract:** Upland rice cultivar Zhonghan 3(japonica) and paddy rice cultivar Wuxiangjing 99-8 (japonica) were used to study the effects of cultivation methods on nitrogen(N) absorption and use efficiency at later growth stage. The rice grain yield was significantly lower under dry cultivation than under submerged cultivation(SC, control) for Zhonghan 3 and there was no significant difference between dry cultivation with plastic film mulching (PFMC) and MC for Wuxiangjing 99-8, and the yield was the lowest under bare cultivation(BC) among the three cultivation methods for two cultivars. N contents in the plants under PFMC and BC were lower at heading, and decreased more slowly from heading to maturity with the order of SC > BC > PFMC. The amount of N absorption by plants was in the order of SC > PFMC > BC at heading and maturity. The proportion of N was significantly higher in the culms and sheaths, whereas significantly lower in the grains, under dry cultivation than under SC. The proportion of N in leaves was different between the two cultivars. N efficiency of matter production was significantly greater under dry cultivation than under SC at heading and was the least for PFMC among the three cultivation methods at maturity. Dry cultivation had higher N efficiency of grain yield production(except PFMC for Zhonghan 3) and greater N harvest index than SC, with the order of BC > PFMC > SC. Compared with Wuxiangjing 99-8, Zhonghan 3 exhibited a faster decrease in N content after heading, smaller N accumulation in plants, greater proportion of N in leaves and grains and smaller in the culms and sheaths, higher N efficiency of matter production(at maturity) and grain yield production, greater N harvest index, and lower grain yield.

**Key words:** upland rice; paddy rice; nitrogen; absorption and use efficiency; rice dry cultivation

**摘 要:** 以武香梗 99-8(水稻)和中早 3 号(陆稻)为材料,研究了种植方式对水稻和陆稻生育后期 N 素吸收利用的影响。与水种稻(对照)相比,中早 3 号覆膜旱种时产量显著低于对照,武香梗 99-8 覆膜旱种时和对照没有显著差异,裸地旱种产量均为最低。覆膜旱种和裸地旱种抽穗期植株的含 N 率较低,抽穗至成熟期植株含 N 率下降速率为水种>裸地旱种>覆膜旱种。抽穗和成熟期植株吸 N 量大小为水种>覆膜旱种>裸地旱种。旱种稻成熟期茎鞘中的 N 素分配显著高于对照,籽粒显著低于对照,品种间叶片有所不同。抽穗期旱种稻的 N 素物质生产效率显著高于对照。成熟期覆膜旱种 N 素物质生产效率最低。旱种稻 N 素籽粒生产效率(中早 3 号覆膜旱种除外)和 N 素收获指数较对照增加,大小为裸地旱种>覆膜旱种>水种。与武香梗 99-8 相比,中早 3 号抽穗后植株含 N 率下降快,植株 N 素积累量较小,叶片和籽粒中 N 素分配比例高,茎鞘低;N 素物质生产效率(成熟期)、N 素籽粒生产效率和 N 素收获指数高,产量低。

**关键词:** 陆稻; 水稻; 氮素; 吸收利用效率; 水稻旱作

**中图分类号:** Q945.12; S318; S511.048

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2005)06-0539-06

氮肥在作物生产中具有十分重要的地位。中国是稻米生产与消费大国,稻米总产量位居所有作物之首,在我国粮食生产中占有极其重要的特殊地位。长期以来,施用大量的化学氮(N)肥一直是作为稳定和提我国水稻产量的重要措施。目前,我国稻田单季 N 肥用量平均为 180 kg/hm<sup>2</sup>,比世界平均用量大约高 75%左右,是日本水稻 N 肥施用量的两倍以上<sup>[1]</sup>。过高的 N 肥投入不仅使得 N 肥利用率过低,而且直接和间接地导致了一系列不良的环境反应,还会造成倒伏、后期贪青迟熟、加重病虫害发生和稻米品质变劣等危险<sup>[2~4]</sup>。因此,如何提高水稻 N 肥的吸收利用效率,是国内外研究的一个热点。

20 世纪 90 年代以来,随着中国北方持续干旱与南方季节性缺水问题的日趋严重,水稻旱种技术的研究与应用不断加强,陆稻的种植面积也有较大幅度的增加,这对稳定和促进粮食生产发挥了积极的作用。水稻从水种到旱种,土壤环境由以淹水为主到以好氧为主,环境发生了很大的变化,水稻对 N 素营养吸收利用可能会有较大的变化。有关水稻地

收稿日期: 2005-06-13; 修改稿收到日期: 2005-07-11。  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30370828); 农业部 948 项目(2003-Z53); 江苏省高校自然科学研究计划资助项目(MK0410195)。  
第一作者简介: 张亚洁(1968—),女,副教授,在读博士研究生。



膜覆盖旱作稻田土壤肥力变化的研究,已有较多的报道<sup>[5~11]</sup>,但地膜覆盖旱作对水稻 N 素吸收利用的影响,存在着不同的研究结果或结论<sup>[12~22]</sup>。在不同种植方式下,水稻和陆稻生育中后期对 N 素吸收利用有哪些特点,未见有研究报道。本研究设置了地膜覆盖和裸地旱种处理,以水层湿润灌溉为对照,分析比较不同种植方式下的水稻和陆稻生育后期 N 素含量、N 素吸收、N 素分配和 N 素效率的差异,以期在水、陆稻高产、节水和合理肥料运筹提供理论和实践依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试验地情况

试验于 2004 年在扬州大学农学院试验农场大田进行。供试材料为旱稻中早 3 号(粳稻)和水稻武香粳 99-8(粳稻)。试验地前茬为小麦,土壤质地为砂壤土,耕作层有机质含量 2.05%,有效 N 103.6 mg/kg,速效 P 24.1 mg/kg,速效 K 85.4 mg/kg。2004 年水稻生长期间(6 月~9 月)的降雨量为 586.6 mm。

1.2 试验设计

试验设计为种植方式×品种两因素试验。种植方式设水种(MC)、覆膜旱种(PFMC)和裸地旱种(BC)。水种(对照):按常规的水稻高产灌溉方式,即移栽至返青期田间保持水层,以后间隙湿润灌溉,收获前 1 周断水,总灌水量为 5213 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。覆膜旱种:移栽前干耕炒耙作畦(畦宽 1.5 m),浇透底墒,地膜覆盖后移栽,移栽后的 5~7 d 内浇水至活棵。裸地旱种:移栽前干耕炒耙作畦(畦宽 1.5 m),浇透底墒,移栽后的 5~7 d 内浇水至活棵。后两种方式分别在分蘖盛期、孕穗期、开花期和灌浆盛期各浇水一次,全生育期不灌溉,总浇水量为 964 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。裂区设计,种植方式为主区,品种为小区。小区面积为 1.5 m×6 m,重复 3 次。尿素、磷酸二铵和氯化钾的施用量分别为 450、375 和 300 kg/hm<sup>2</sup>,在移栽前以基肥一次施用。主区间作埂(宽 1 m)并包塑料薄膜将两区隔开。5 月 12 日播种,6 月 13 日移栽(采用旱育秧方式),株行距 12 cm×27 cm,两品种均双本栽插。

1.3 测定内容与方 法

分别于抽穗期和成熟期按小区平均有效茎蘖(穗)数(不包括边行)以 5 点取样法取 5 穴为一个样本(取样时每穴茎蘖数为当时各小区每穴的平均茎蘖数),各品种(组合)取 5 个样本,剪去根后,分叶

片、茎鞘和穗等 3 个部分烘干称量(105℃下杀青 30 min,80℃下烘干 72 h),分别测定地上部茎鞘、叶片、稻穗等诸器官干物质质量,粉碎后用半微量凯氏蒸馏法测定全 N 含量。成熟期各小区实收计产。另外各处理取代表性样本 5 穴,手工脱粒后,采用水漂法区分饱粒和空秕粒并计数称量,计算每穗粒数、结实率和千粒重。

1.4 数据分 析

本试验所有数据均以 Excel 进行处理,SPSS 进行统计分析,Excel 进行图表绘制。

2 结果与分 析

2.1 种植方式对水稻和陆稻产量的影响

由图 1 可知,不同种植方式下,水稻和陆稻产量表现为:1)中早 3 号覆膜旱种和裸地旱种的产量分别较水种降低 9.4% 和 11.9%,下降幅度均达到显著水平,旱种之间差异不显著;武香粳 99-8 覆膜旱种产量较水种下降 0.9%,但差异不显著,裸地旱种产量较水种下降 8.0%,达显著水平。2)中早 3 号产量显著低于武香粳 99-8。

2.2 种植方式对水稻和陆稻植株含 N 率的影响

图 2 表明,不同种植方式下,水稻和陆稻植株含 N 率表现为:抽穗期中早 3 号覆膜旱种和裸地旱种的植株含 N 率均较水种显著减少,旱种之间差异不显著,武香粳 99-8 与中早 3 号趋势一致;成熟期中早 3 号覆膜旱种植株含 N 率较水种增加了 12.2%,差异达显著水平,裸地旱种的植株含 N 率较水种减少了 0.04%,差异不显著。含 N 率大小顺序为覆膜

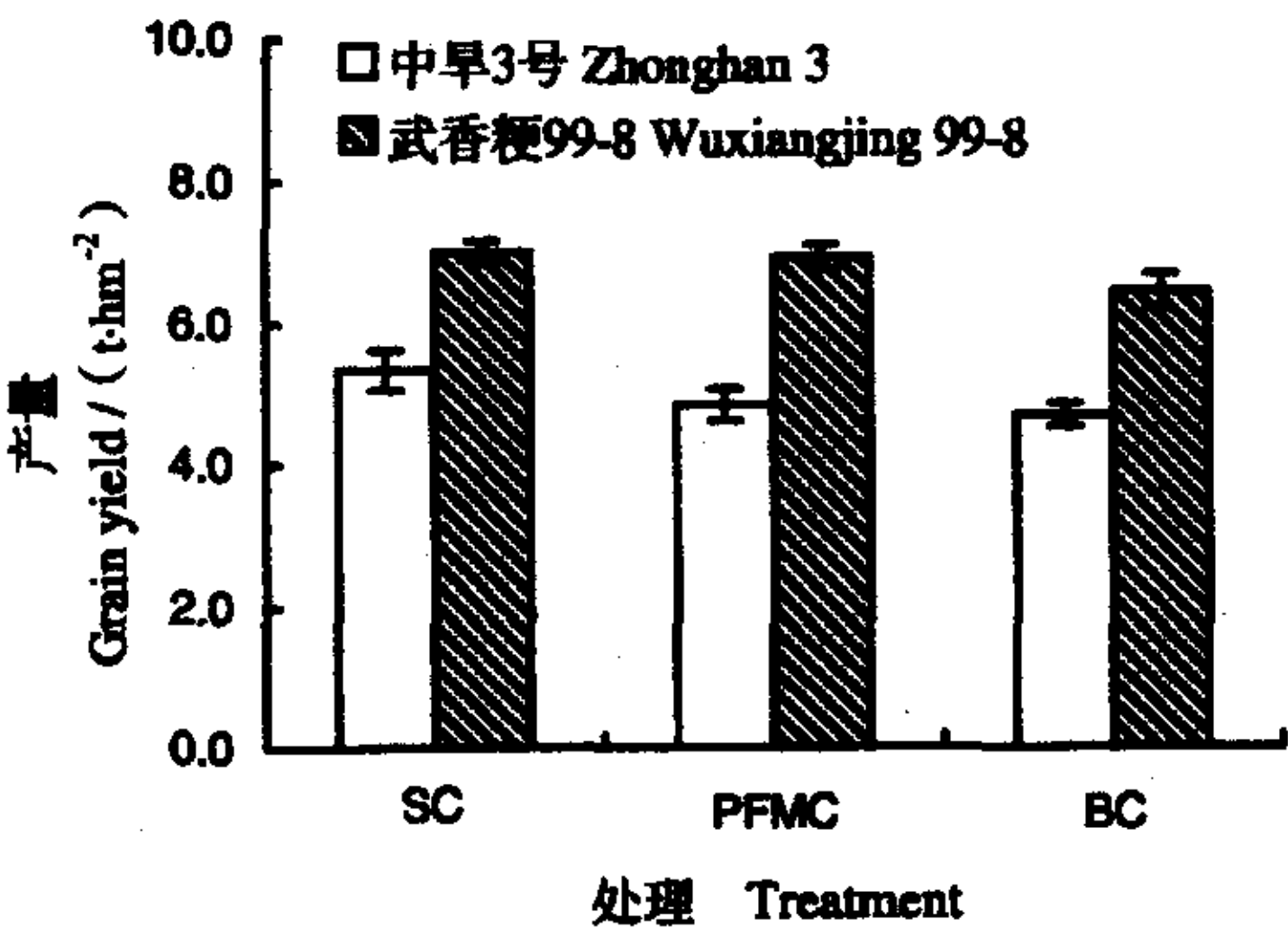


图 1 种植方式对水稻和陆稻产量的影响  
Fig. 1. Effect of cultivation methods on grain yield of upland and paddy rice.  
SC—水种; PFMC—覆膜旱种; BC—裸地旱种。图中的竖线表示标准误。下同。  
SC, Submerged cultivation; PFMC, Dry cultivation with plastic film mulching; BC, Bare cultivation. Vertical bars represent standard errors. The same as figures or tables below.



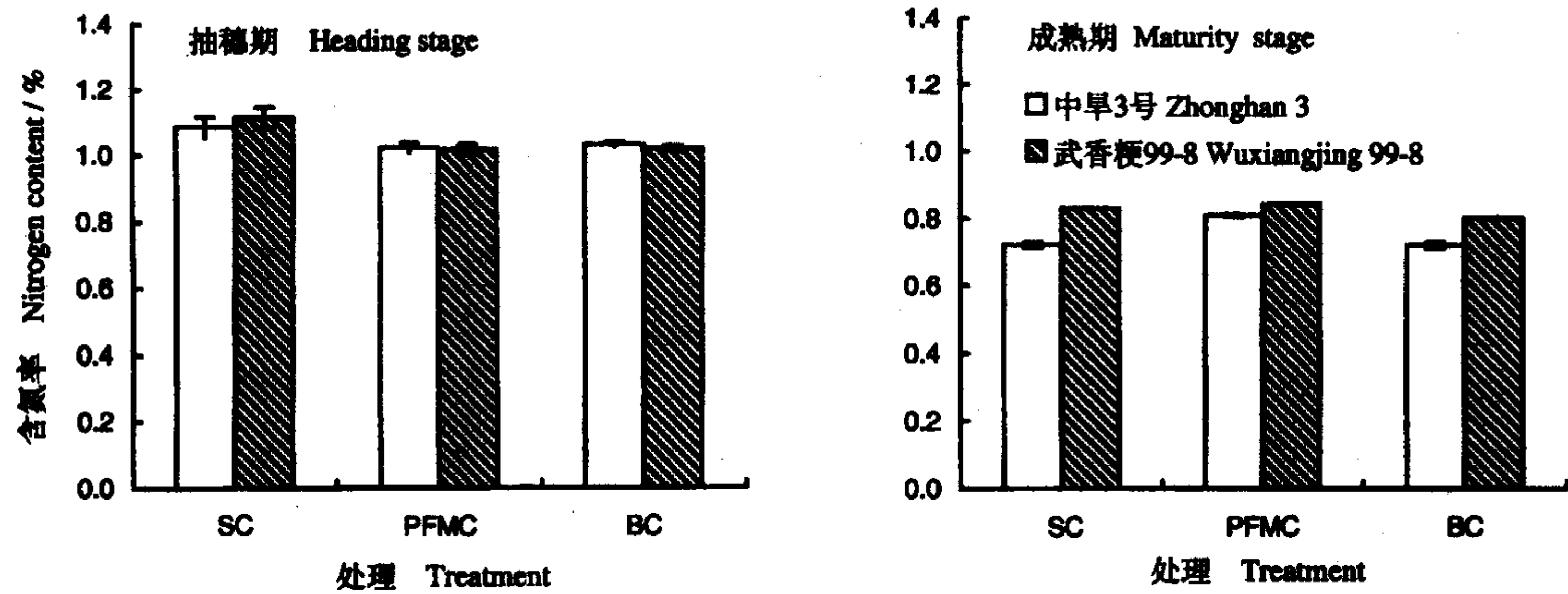


图2 种植方式对水稻和陆稻生育后期植株含N率的影响  
Fig. 2. Effect of cultivation methods on nitrogen content in plants of upland and paddy rice at later growth stage.

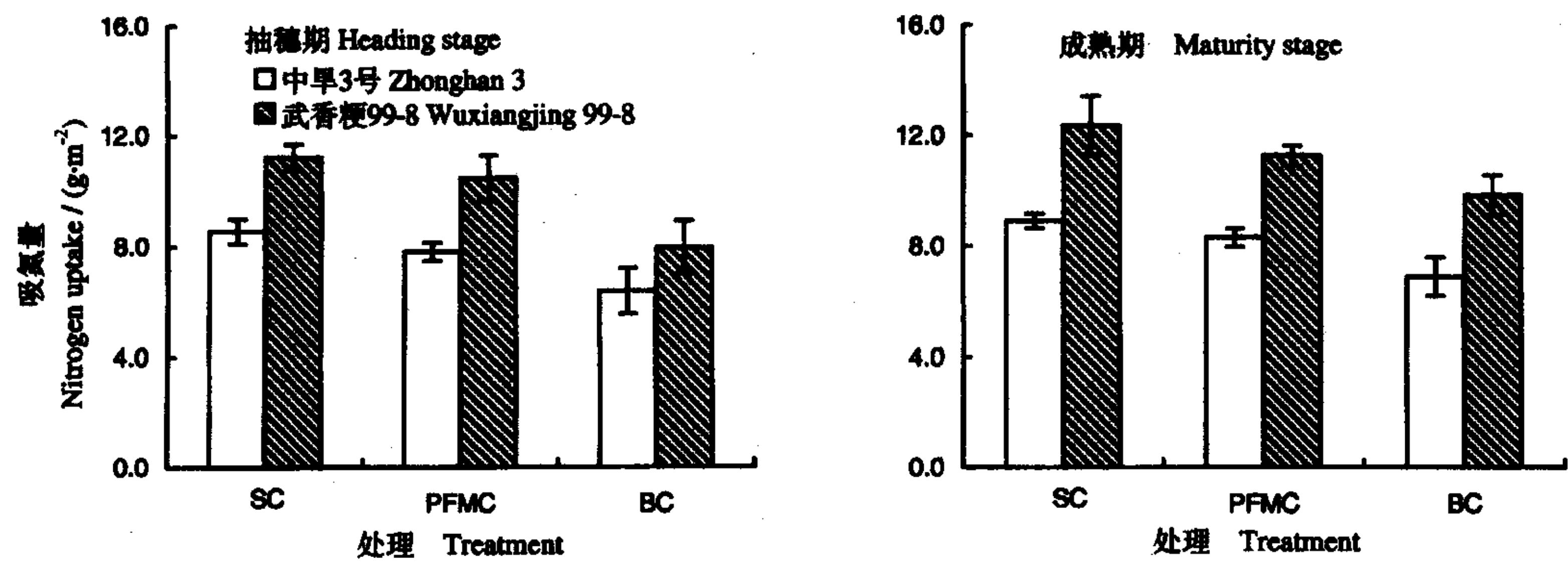


图3 种植方式对水稻和陆稻生育后期植株吸N量的影响  
Fig. 3. Nitrogen uptake of upland and paddy rice at later growth stage under different cultivation methods.

旱种>水种>裸地旱种。武香梗 99-8 的植株含 N 率与中旱 3 号趋势基本一致。抽穗至成熟期间植株含 N 率下降速率为水种>裸地旱种>覆膜旱种。抽穗期中旱 3 号植株含 N 率略高于武香梗 99-8, 但不显著, 成熟期中旱 3 号含 N 率显著低于武香梗 99-8, 说明陆稻植株含 N 率下降较水稻快。

2.3 种植方式对水稻和陆稻植株吸 N 量的影响

由图 3 可知: 1) 抽穗期中旱 3 号覆膜旱种和裸地旱种的 N 素累积量分别比水种减少了 14.5% (差异不显著) 和 25.7% (差异显著); 旱种之间的 N 素累积量差异不显著。植株吸 N 量大小顺序为水种>覆膜旱种>裸地旱种, 武香梗 99-8 与中旱 3 号趋势基本一致。成熟期中旱 3 号覆膜旱种和裸地旱种的 N 素累积量分别比水种减少 7.0% (不显著) 和 23.0% (显著), 旱种之间差异达显著水平, 植株吸 N 量大小顺序为水种>覆膜旱种>裸地旱种, 武香梗 99-8 植株的 N 素累积量与中旱 3 号趋势基本一致。2) 生育后期中旱 3 号 N 素累积量显著小于武香梗 99-8。这可能与中旱 3 号生育后期植株含 N

率下降快, 干物质生产量较小有关。

2.4 种植方式对水稻和陆稻植株各器官 N 素分配的影响

2.4.1 对 N 素在叶片中分配比例的影响

由表 1 可知, 成熟期中旱 3 号覆膜旱种和裸地旱种的植株叶片中 N 素分配比例分别比水种增加 12.3% 和 12.2%, 差异均达显著水平。叶片中 N 素分配在两旱种方式之间没有显著差异。武香梗 99-8 成熟期覆膜旱种和裸地旱种的叶片中 N 素分配比例分别比水种增加 0.2% (差异不显著) 和减少 8.3% (差异显著)。成熟期中旱 3 号叶片中 N 素分配比例极显著高于武香梗 99-8, 这可能与陆稻的叶片大而长, 叶片相对较重有关。

2.4.2 对 N 素在茎鞘中分配比例的影响

成熟期中旱 3 号覆膜旱种和裸地旱种的植株茎鞘中 N 素分配比例较水种分别增加了 9.5% 和 8.0%, 差异均达显著水平。N 素在茎鞘中分配比例在两旱种方式之间差异不显著, 武香梗 99-8 与中旱 3 号趋势一致。旱种条件下, 茎鞘中 N 素积累相对



表 1 种植方式对水稻和陆稻成熟期各器官 N 素分配的影响

Table 1 . Effect of cultivation methods on proportion of nitrogen accumulation in leaves, culms and sheaths and panicles of upland and paddy rice at maturity stage.

品种 Cultivar	种植方式 Cultivation method	叶 Leaf	茎鞘 Culm and sheath	穗部 Panicle
中早 3 号 Zhonghan 3	水种 SC	17.80 b	23.63 b	58.57 a
	覆膜旱种 PFMC	19.99 a	25.88 a	54.13 b
	裸地旱种 BC	19.98 a	25.51 a	54.51 b
	平均 Average	19.26 **	25.01 **	55.73 **
武香粳 99-8 Wuxiangjing 99-8	水种 SC	14.50 a	32.38 b	53.12 a
	覆膜旱种 PFMC	14.53 a	34.71 a	50.76 b
	裸地旱种 BC	13.30 b	34.40 a	52.30 ab
	平均 Average	14.11	33.83	52.06

同一品种同一栏中数据后带相同字母者表示差异在 5%水平不显著；\*\* 表示平均数与对照比差异达 0.01 极显著水平。

Within a column, data followed by the same letters indicate no significant difference at 0.05 level for a cultivar; \*\* Significant difference with the control at 0.01 level.

较多(表 1)。从表 1 还可以看出,中早 3 号成熟期茎鞘中 N 素分配比例极显著低于武香粳 99-8,推测可能与陆稻茎鞘中 N 素的输出量较高有关。

2.4.3 对 N 素在籽粒中分配比例的影响

表 1 还表明:1)成熟期中早 3 号覆膜旱种和裸地旱种的植株籽粒中 N 素分配比例分别比水种降低了 7.6%和 7.0%,差异显著。籽粒中 N 素分配比例在两旱种方式之间差异不显著。武香粳 99-8 趋势与中早 3 号基本一致。2)中早 3 号籽粒中 N 素分配比例极显著高于武香粳 99-8,说明陆稻籽粒积累 N 素的能力相对较水稻强,这与其茎鞘 N 素输出率高是一致的。

2.5 种植方式对水稻和陆稻 N 素利用效率的影响

2.5.1 对 N 素物质生产效率的影响

N 素物质生产效率是干物质累积量与植株 N 素累积量的比值,用来衡量吸收单位 N 素生产的干物质量。由图 4 可知:1)抽穗期中早 3 号覆膜旱种和裸地旱种的 N 素物质生产效率分别比水种增加

4.5%和 3.7%,差异均达显著水平。N 素物质生产效率在两旱种方式之间差异不显著;武香粳 99-8 与中早 3 号趋势一致;成熟期中早 3 号覆膜旱种和裸地旱种的 N 素物质生产效率分别比水种减少 13.1%和 7.1%,差异显著;武香粳 99-8 成熟期覆膜旱种 N 素物质生产效率比水种减少了 1.3%(差异显著);裸地旱种 N 素物质生产效率比水种增加了 3.6%(差异显著)。成熟期两品种 N 素物质生产效率各种种植方式之间大小顺序不太一致,但均以覆膜旱种最小。2)抽穗期中早 3 号植株 N 素物质生产效率与武香粳 99-8 相比没有显著差异,但成熟期比武香粳 99-8 增加了 12.9%,差异达极显著水平。这可能与中早 3 号后期植株含 N 率下降较快,N 素累积能力小有关。

2.5.2 对 N 素籽粒生产效率和 N 素收获指数的影响

N 素籽粒生产效率为籽粒产量与成熟期吸 N 量的比值,是衡量吸收单位 N 素生产的籽粒产量。

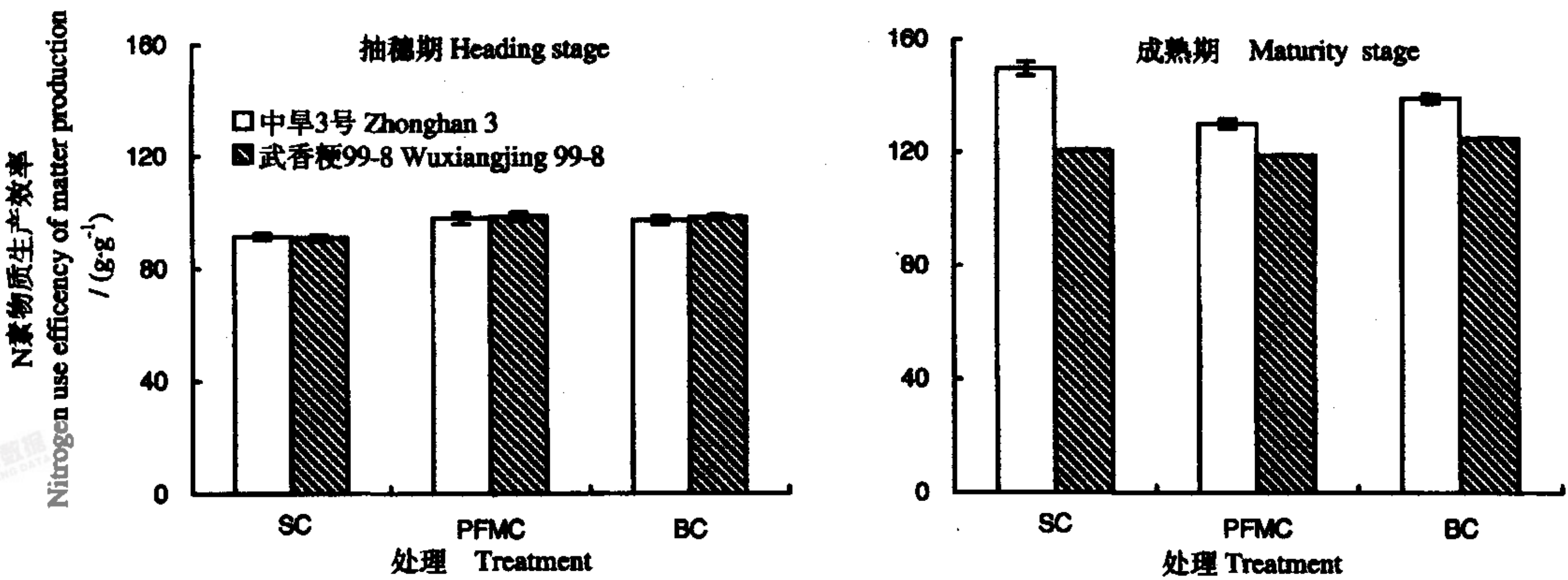


图 4 种植方式对水稻和陆稻 N 素物质生产效率的影响

Fig. 4. Effect of cultivation methods on nitrogen use efficiency of matter production of upland and paddy rice at later growth stage.



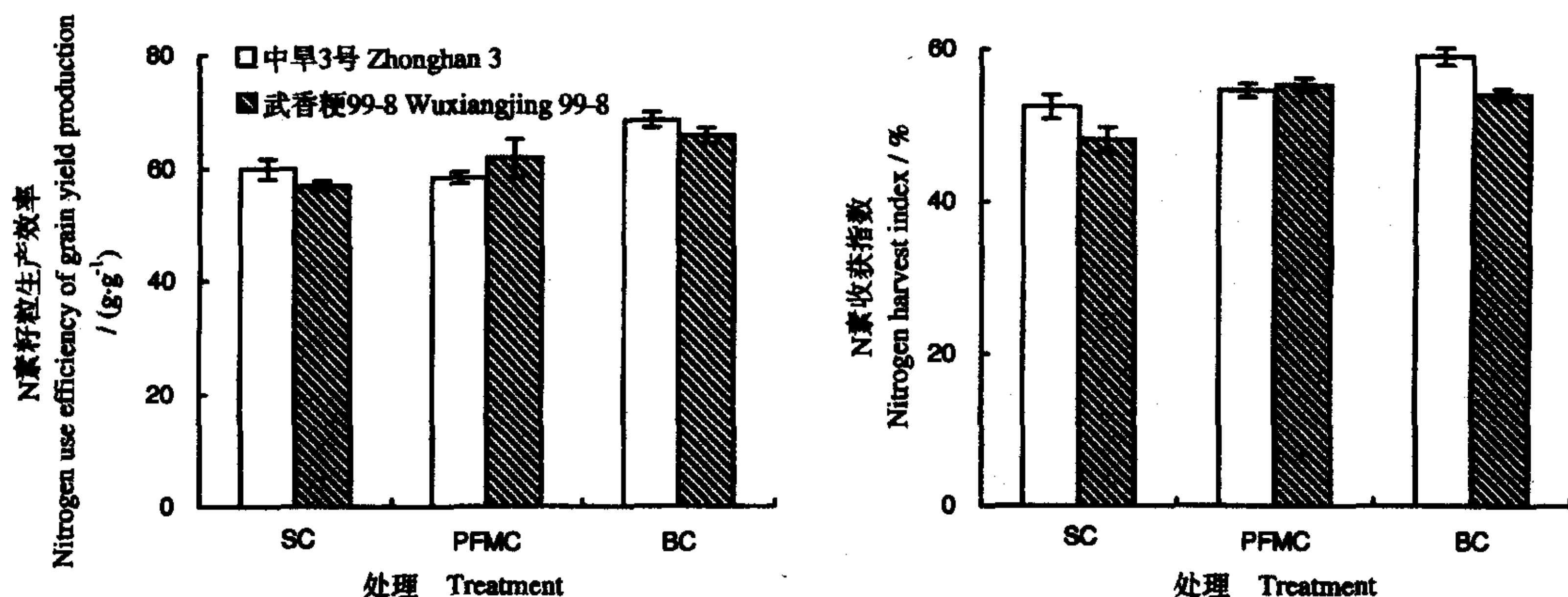


图5 种植方式对水稻和陆稻N素籽粒生产效率和N素收获指数的影响

Fig. 5. Nitrogen use efficiency of grain yield production and nitrogen harvest index of upland and paddy rice under different cultivation methods.

图5表明,中早3号覆膜早种和裸地早种的N素籽粒生产效率分别比水种减少2.6%(不显著)和显著增加14.3%,N素籽粒生产效率大小顺序为裸地早种>水种>覆膜早种。武香梗99-8覆膜早种和裸地早种的N素籽粒生产效率分别比水种增加8.5%和15.4%,水稻和陆稻覆膜早种的N素籽粒生产效率有一定差异。中早3号N素籽粒生产效率比武香梗99-8高出1.2%,但差异不显著。N素收获指数是指籽粒中的N素累积量占全株N素累积量的比值。由图5可见,中早3号覆膜早种和裸地早种的N素收获指数分别比水种增加4.1%和12.7%,早种之间差异显著。N素收获指数大小顺序为裸地早种>覆膜早种>水种;武香梗99-8趋势与中早3号基本一致。中早3号的N素收获指数显著高于武香梗99-8(高出7.0%)。

由此可知,旱种情况下,N素籽粒生产效率上升(中早3号覆膜早种除外),N素收获指数增加。陆稻N素籽粒生产效率和N素收获指数均高于水稻。

### 3 讨论

本研究表明,与水种(对照)相比,水、陆稻覆膜旱种和裸地旱种时抽穗期植株的含N率较低,但抽穗至成熟期间植株含N率下降速率较慢,尤以覆膜旱种下降速率最慢。分析其原因,可能与旱种和水种条件下的土壤环境和稻株的吸N能力有关。与非淹水的土壤(旱种)相比,淹水的土壤(水种)N矿化供应量增加,土壤供肥强度增强,植株吸N能力也较强<sup>[11,12]</sup>。相反,在旱种条件下,土壤水势下降,土壤孔隙被空气充满,N素向根表移动缓慢,木质部液流粘滞性增大,降低了根系对N素的吸收和

运输<sup>[13,23]</sup>。因而表现为在抽穗前水种稻的植株含N率高于旱种稻。但在生育中后期,水种稻由于长期处于淹水条件,土壤的通透性和氧化还原电位降低,根系活力下降快,水稻的吸N能力减弱。而旱种稻土壤的通透性较好,氧化还原电位较高<sup>[5~12]</sup>,根系活力下降慢。我们观察发现,随着抽穗后灌浆进程的推进,根系伤流量下降速度表现为水种>裸地旱种>覆膜旱种(数据未列出),这与不同种植方式下灌浆期植株含N率下降速率表现较为一致。本试验观察到旱种条件下植株含N率下降和稻株衰老缓慢与艾应伟等<sup>[16]</sup>的研究结果不尽一致,其原因很可能与试验的品种、肥料运筹、土壤特性和气候等不同有关。

艾应伟等<sup>[16]</sup>研究表明,裸地旱作和盖膜旱作稻籽粒的N肥利用率均显著高于水种稻。本试验也得到类似的结果。但本试验观察到,在旱种条件下N素的吸收利用在水稻和旱稻间有较大差异。与水稻武香梗99-8相比,旱稻中早3号抽穗后植株含N率下降快,N素籽粒生产效率和N素收获指数较高。这可能与中早3号生育期较短、灌浆后期叶绿素含量和根系衰老快、植株茎鞘N素向籽粒运转得多有关。

本研究观察到中早3号覆膜旱种后千粒重和结实率增加,单位面积穗数和每穗粒数较水种稻显著减少。但千粒重和结实率的增加补偿不了穗数和每穗粒数减少,导致产量降低;武香梗99-8覆膜旱种后每穗粒数减少、千粒重降低、穗数和结实率增加,但单位面积穗数和结实率的增加补偿了每穗粒数和千粒重减少,使覆膜旱种产量与水种产量相比没有显著差异,这与艾应伟等<sup>[16]</sup>用水稻Ⅱ优838研究的



结果一致。表明只要选择合适的品种,水稻覆膜旱种不仅可以节约用水(节水率达81.5%),而且可获得较高的产量。但水稻覆膜旱种花工较多,长期使用地膜覆盖可能会对土壤造成污染。如何克服其缺点,这是覆膜旱种水稻值得研究的问题。在种植陆稻地区,可采用裸地旱种,适当增加基本苗数,在中度水分胁迫下,适度增施N肥,在颖花形成期适度浇水,提高每穗粒数和成穗数,可以达到节水省工优质高产的目的<sup>[24]</sup>。

本试验主要探讨了种植方式对水稻和陆稻生育后期N素吸收利用的影响。在不同种植方式下N肥与P、K肥的相互作用以及施肥方法对水稻和陆稻养分吸收的影响,有待深入研究。

#### 参考文献:

- 1 FAO. Statistical Databases. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, 2004.
- 2 李伟波, 吴留秋, 廖海秋. 太湖地区高稻田氮肥施用与作物吸收利用的研究. 土壤学报, 1997, 34(4): 67—72.
- 3 崔玉亭, 程 序, 韩纯儒, 等. 苏南太湖流域水稻经济生态适宜施氮量研究. 生态学报, 2000, 20(4): 659—662.
- 4 Witt C, Dobermann A, Abdulrachman S. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field Crops Res*, 1999, 63: 113—118.
- 5 石英, 冉 炜, 沈其荣, 等. 不同施氮水平下旱作水稻土壤无机氮的动态变化及其吸氮特征. 南京农业大学学报, 2001, 24(2): 61—65.
- 6 刘 铭, 吴良欢. 覆膜旱作稻田土壤有效N、P、K及盐分分层变化研究. 土壤通报, 2004, 35(5): 570—573.
- 7 汪景宽, 张继宏, 须湘成, 等. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究. 沈阳农业大学学报, 1992, 23: 32—37.
- 8 汪景宽, 张继宏, 须湘成, 等. 长期地膜覆盖对土壤氮素状况的影响. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(2): 125—130.
- 9 姚建国, 於忠祥. 地膜覆盖的土壤养分变化研究. 安徽农学通报, 1998, 4(1): 36—37.
- 10 Ideto U, Shigekazu Y. Nitrogen dynamics in paper mulched paddy field fertilized with controlled release coated urea by <sup>15</sup>N method. In: Ando T, Fujita K, Mae T, *et al.* Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment. Tokyo, Japan: Kluwer Academic Publishers, 1997. 539—540.
- 11 Saigusa M, Hanaki M, Ito T. Decomposition pattern of rice straw in poorly drained paddy soil and recovery rate of straw nitrogen by rice plant in no-tillage transplanting cultivation. *Japan J Soil Sci Plant Nutr*, 1999, 70: 157—163.
- 12 李奕松, 黄仲青, 蒋之坝, 等. 旱种水稻营养吸收特性的研究. 安徽农业科学, 2002, 30(4): 469—470, 474.
- 13 路兴花, 吴良欢. 覆膜旱种稻N、P、K养分利用特征. 土壤通报, 2002, 33(6): 421—424.
- 14 石英, 松 进, 沈其荣, 等. 覆盖旱作水稻的生物效应及吸氮特征. 农村生态环境, 2001, 17(2): 22—25, 44.
- 15 艾应伟, 刘学军, 张福锁, 等. 不同覆盖方式对旱种水稻氮肥肥效的影响. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 416—419.
- 16 艾应伟, 刘学军, 张福锁, 等. 旱作与覆盖方式对水稻吸收利用氮的影响. 土壤学报, 2004, 43(1): 152—155.
- 17 周涛云. 土壤供水量对氮肥吸收的影响. 土壤通报, 1997, 28(3): 103—104.
- 18 梁永超, 胡 锋, 杨茂成, 等. 水稻覆膜旱种高产节水机理研究. 中国农业科学, 1999, 31(1): 26—32.
- 19 吴良欢, 祝增荣, 梁永超, 等. 水稻覆膜旱种节水节肥高产栽培技术. 浙江农业大学学报, 1999, 25(1): 41—42.
- 20 Rego T J. Comparison of the effect of continuous and relieved water stress on nitrogen nutrition of grain sorghum. *Aust J Soil Res*, 1988, 39: 773—782.
- 21 Wakamatsu M. Development of direct sowing techniques for costly rice cultivars. I. Influence of polyethylene film mulching on growth and heading date. *Tohoku J Crop Sci*, 1997, 40: 57—58.
- 22 Wu L, Zhu Z, Liang Y, Zhang F. Plastic film mulching cultivation: a new technology for resource saving water and N fertilizer and reduced environmental pollution. In: Horst W J, Schenk M K, Bürkert A, *et al.* Plant Nutrition—Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 1024—1025.
- 23 Yamada Y, Fukutoku Y. Effect of water stress on soybean metabolism. In: Shanmugasundaram S, Sulzberger E W, McLean B J. Soybean in Tropical and Subtropical Cropping Systems. Shanghai: Asian Vegetable Research and Development Center, 1985. 373—382.
- 24 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究. 中国农业科学, 1996, 29(4): 58—66.