

包膜复合肥对水稻生长及营养特性的影响

邹应斌, 贺帆, 黄见良, 熊远福

(湖南农业大学水稻研究所, 湖南长沙 410128)

摘要: 试验以早稻品种早凡 5 号和晚稻品种新香优 80 为材料, 利用自行研制的低成本包膜复合肥($N:P_2O_5:K_2O = 17\%:7\%:12\%$)设置不同用量处理, 以相同养分含量的未包膜复合肥为对照, 在大田条件下采用随机区组小区试验, 比较研究了供试水稻品种的生长生理和营养生理特性。结果表明包膜肥各处理分蘖增长平缓, 成穗率高, 而对照前期分蘖发生快, 无效分蘖增多。包膜肥各处理剑叶叶绿素含量和 SPAD 测定值在后期显著高于对照。与等量或减量 20%~25% 的未包膜复合肥处理比较, 早稻产量增加 5.0%~12.8%, 晚稻实际产量提高 7.5%~13.6%, 均达 5% 显著水平。因此, 施用包膜复合肥前期养分释放平稳, 水稻生长健壮; 中后期可提供较多的养分, 延长水稻叶片的光合功能期, 促进光合产物向籽粒中转运, 增加干物质产量和稻谷产量。

关键词: 水稻; 生理; 产量; 包膜复合肥

中图分类号: S145.6

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X (2005)01-0057-07

Effects of coated-compound fertilizer on the growth and nutrition characteristics of double cropping rice (*Oryza sativa* L.)

ZOU Ying-bin, HE Fan, HUANG Jian-liang, XIONG Yuan-fu

(Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: Field experiment was conducted to study the characteristics of growth and nutrition physiology of test plants treated with different dosages of self-developed and lower cost coated-compound fertilizer($N:P_2O_5:K_2O = 17\%:7\%:12\%$)(coated F). Uncoated-compound fertilizer with same nutrient contents was selected as control (uncoated F). Experimental materials are double cropping rice (*Oryza sativa* L.) varieties named as Zaofan No. 5 being early season rice and Xinxiangyou 80 being late season rice, respectively. Three treatments were set up for early season rice including two treatments for coated F with dosages of 480kg/hm² and 360kg/hm² separately and one treatment for uncoated F as control with the dosage of 600 kg/hm². Four treatments were set up for late season rice including two coated F treatments with a dosage of 800 kg/hm², 600 kg/hm² separately and two treatments of uncoated F with the dosages of 0 kg/hm², 800 kg/hm² separately. Different parameters of growth and nutrition physiology were investigated including dry matter accumulation, chlorophyll content, tiller growth, yield and its components. The nutrient contents of test plant and soil nutrition properties were tested as well. Field plots adapted randomized complete block design with three replications. The area of each plot was 30m². The results showed that tillers increased gently with a higher percentage of effective tillers for each treatment of coated F. While for the rice treated with uncoated F, tillers increase rapidly with more unproductive tillers. After heading stage, the chlorophyll content and measured value of SPAD (tested by chlorophyll meter SPAD 502) in flag leaves were markedly higher in Coated F treatment than uncoated F treatment. Comparing to the treatment with isometric or decrement 20%—25% of uncoated F, the yield increased by 5.0%—12.8% for early season rice and by 7.5%—13.6% for late season rice. It can be concluded that coated F could control the release of N, P, K; made the rice grow sturdily during the early growth period. Meanwhile, coated F could supply more nutrients

收稿日期: 2004-02-25

修改稿收到日期: 2004-05-17

基金项目: 国家“863”课题 (2001AA218041) 资助

作者简介: 邹应斌(1954—), 男, 湖南望城人, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物栽培学与耕作学研究。

本研究得到中国农业科学院土壤肥料研究所张夫道研究员的支持和帮助, 特此谢忱!

during the meddle-late growth periods; prolong the photosynthesis time of the function leaves; accelerate the translocation of the photosynthesis product to panicles and grains, and increase the total dry matter production and the grain yield.

Key words: rice; physiology; yield; coated-compound fertilizer

有机高聚物包膜肥是国际上所公认的可控释肥料,但不同高聚物材料所包膜的肥料养分释放速率和释放期不同,并受温度条件的影响^[1]。目前研制的可控释肥能调控养分的供应速度^[2],尚不能做到促释与缓释的双向调节^[3]。水稻施用包膜尿素、硫衣尿素的肥效好,氮素利用率明显得到提高,且氮素释放的速率与水稻生长对氮的需要量同步^[4-5],因此免耕直播水稻可以采用一次性施肥^[5-6]。水稻基施可控释肥,前中期吸收的氮素明显高于尿素或硫酸铵分次施肥处理,能满足移栽水稻本田期对氮素的要求,氮素利用率高和增产效益明显^[7-8]。但是,以往关于水稻可控释肥的养分利用率和氮素营养的研究较多,而关于可控释肥对水稻生长生理的效应则少有报道。同时,控释肥或缓释包膜肥由于成本较高而限制了在大田作物上的应用^[9-10]。本研究试图探讨自行研制的低成本包膜复合肥在大田条件下对水稻的生长和营养生理特性的影响,以期为新型缓释或控释包膜肥的研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

田间试验于 2002 年在早稻和晚稻上进行。
早稻试验在湖南省宁乡县基点,供试土壤为红

黄泥,水稻品种为早凡 5 号。试验用肥料系采用自行研制的高分子复合材料作包膜剂的包膜复合肥。包膜剂的膜孔直径平均为 220nm,膜孔密度平均为 4.8×10^5 个/cm²,每吨肥料的包膜成本约为 45 元。包膜复合肥和作对照用的普通复合肥的 N、P₂O₅、K₂O 养分含量分别为 17%、7%、12%。试验设施未包膜普通复合肥 600 kg/hm²(对照,用 F600 表示),施包膜复合肥 480 kg/hm² 和施包膜复合肥 360 kg/hm²(分别用 CF480 和 CF360 表示)3 个处理。3 月 21 播种,4 月 23 日移栽,插秧密度为 16.5cm × 20cm,每穴栽 2 苗。

晚稻试验在长沙市湖南农业大学实验基地进行。供试土壤为河沙泥,品种为新香优 80。试验设对照(不施肥,CK 表示)、施普通复合肥 800 kg/hm²(F800 表示)、施包膜复合肥 800 kg/hm²(CF800 表示)和施包膜复合肥 600 kg/hm²(CF600 表示)4 个处理。6 月 23 日播种,7 月 20 日移栽日期,插秧密度为 20cm × 20cm,每穴栽 2 苗。

两地试验小区面积均为 30m²,重复 3 次,随机区组排列。各小区间作埂用地膜包裹,单排单灌。试验前耕层土壤养分含量见表 1。肥料于插秧前一天施入,施肥后耘田使肥料与土壤混匀。其它管理措施与当地高产栽培要求相同。

表 1 供试土壤基础养分含量
Table 1 Physico-chemical properties of selected soil

地点 Site	pH	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	碱解氮 Alkali. N (mg/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	交换性钾 Exchang. K (mg/kg)
宁乡 Ningxiang	6.0	21.80	1.83	0.76	8.30	72.78	14.43	41.10
长沙 Changsha	5.5	26.40	2.94	0.82	10.20	96.15	43.90	66.23

1.2 测定项目及方法

自水稻返青分蘖期至抽穗期,每小区定点 10 穴,每 3d 一次观察记载分蘖数;分别于分蘖期、孕穗期、齐穗期、乳熟期、黄熟期取植株样,洗净去根然后于 105℃ 条件下,杀青 30min,再经 80℃ 烘干至恒重,测定干物质及养分含量。于成熟期调查水稻有效穗数,每小区选 10 穴考查穗粒结构;分小区收割,测定各小区实际产量。

叶色及叶绿素含量采用 SPAD-502 叶色测量仪测定植株的最上一片全展叶的 SPAD 值。每小区测定 5 片叶,每片叶测定 3 个点,每 6d 测定一次;同时采取样叶,剪碎用 80% 丙酮浸提,用 UV-9200 型分光光度计在 652nm 波长下比色测定叶绿素含量^[11]。

翻耕前采集基础土样以及水稻移栽后,在采集植株样品的同时,采集各小区 0—15cm 土样。样品经多点混合后供土壤养分分析。植株氮、磷、钾含量

以及土壤全量和速效养分含量用常规方法测定^[12]。

2 结果与分析

2.1 包膜复合肥对水稻生长动态的影响

水稻分蘖动态调查表明,早稻不同处理分蘖无明显差异,而晚稻施普通复合肥分蘖较早,最高分蘖期出现也早,虽分蘖数较多,但无效分蘖增多;而包膜复合肥分蘖增长平缓,最高分蘖期出现较迟,虽分蘖数稍低,但有效分蘖数较高,这从后期产量构成得到证明。

包膜复合肥明显促进水稻中后期的干物质生产,在成熟期达到最大。表 2 看出,早稻不同的施肥处理在最高分蘖期和孕穗期地上部干物质积累量差

异不显著,到乳熟期则 CF480 处理的干物质积累量最大,而普通复合肥虽然施肥总量最高,但与 CF360 处理差异不显著,两者均显著低于 CF480 处理。成熟期表现出来的差异与乳熟期一致,CF480 包膜肥处理的干物质积累量比 F600 处理提高 17.9%。晚稻施用包膜复合肥后对水稻生长的影响同样也表现在水稻后期。显然,所有的施肥处理的干物质生长量显著高于不施肥处理,但不同的肥料量对干物质的影响直至成熟期才表现出显著差异。包膜复合肥处理的 CF800,其成熟期干物质积累量显著高于养分量相同普通复合肥处理(F800),增加的幅度达 20.1%;而降低各种养分量 25%但采用包膜复合肥处理(CF600)与 F800 处理间差异不显著。

表 2 不同肥料处理对水稻干物质质量的影响 (kg/hm²)
Table 2 Effect of different fertilizers on dry matter production of rice

处理 Treatment	最高分蘖期 Max. tillering stage	孕穗期 Booting stage	齐穗期 Flowering stage	乳熟期 Milking stage	黄熟期 Maturity stage
早稻 Early rice					
F600	327	4783	nd	8697b	9418b
CF480	400	4746	nd	10504a*	11106a
CF360	365	4773	nd	8839b	9641b
LSD _{0.05}	199.9	1310.1	nd	1458.2	1945.7
晚稻 Late rice					
CK	1540b	4090b	5653b	7334b	8780c
F800	1987a	4743a	6774a	9320a	11942b
CF800	2132a	5427a	6924a	9795a	14340a
CF600	2018a	4711a	6791a	9597a	12134b
LSD _{0.05}	217.6	480.8	393.7	738.9	1542.7

注 (Note): nd—未测定 undetermined. 不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。Different letters mean significant at 5% level,same as follows.

2.2 包膜复合肥对叶片 SPAD 值及叶绿素含量

晚稻试验表明,抽穗(9 月 10 日)以后,剑叶叶绿素含量逐步下降,但包膜复合肥处理降低速度较慢。表 3 看出,在施用肥料养分量相同的条件下,包膜复合肥处理(CF800)叶片 SPAD 测定值显著高于 F800,而 CF600 处理的 SPAD 测定值在齐穗至乳熟期 F800 无显著差异,但到黄熟期(10 月 4 日)则高于

F800。

叶绿素含量的变化趋势与 SPAD 叶色观测值一致。CF800 处理的叶绿素含量比 F800 处理高 1.106mg/g。说明包膜复合肥的肥效长,在水稻的子粒充实期仍能提供较多的肥料养分,有利于防止后期早衰。

表 3 不同肥料处理的晚稻中后期叶绿素含量的影响
Table 3 Effect of different fertilizers on chlorophyll content at middle and late stage of rice

处理 Treatment	测定日期(日/月) Observation date (d/mon)											
	09—04		09—10		09—16		09—22		09—28		10—04	
	SPAD	mg/g, FW	SPAD	mg/g, FW	SPAD	mg/g, FW	SPAD	mg/g, FW	SPAD	mg/g, FW	SPAD	mg/g, FW
CK	41.3	2.18	37.1c	1.98	37.7c	2.01	37.0c	1.56	34.8c	1.58	24.7d	1.49
F800	41.4	2.83	39.5b	2.19	40.3b	2.65	41.6ab	1.79	38.9b	1.65	34.8c	1.68
CF800	42.7	3.42	40.5a	3.10	41.1a	3.21	42.3a	3.14	40.1a	3.08	38.3a	2.79
CF600	42.7	3.43	39.1b	2.89	40.0b	3.17	40.9b	3.05	39.0b	2.98	36.3b	2.64
LSD _{0.05}	2.11		0.56		0.55		1.10		1.02		1.21	

2.3 包膜复合肥对水稻养分含量的影响

图 1 表明,植株氮素含量以分蘖期最高,处理间存在明显差异。从分蘖期到成熟期,早稻以 CF360 处理变化较为平缓,F600 处理植株全氮含量的变幅最大。在施肥养分量相同的条件下,包膜复合肥处理在孕穗期至成熟期植株中的全氮含量均高于普通复合肥;以 CF480 处理的植株全氮含量最高,达 2.23%,比 F600 处理提高了 23.7%。到成熟期 CF360 与 F600 处理的全氮含量接近。

晚稻植株的氮素含量变化趋势与早稻一致。在分蘖期,普通复合肥处理(F800)植株氮素含量高于包膜复合肥处理(CF800、CF600),但随后普通复合肥处理全氮含量迅速下降,至孕穗期则低于包膜复合肥处理;成熟期 CF800 和 CF600 处理植株全氮含量分别比 F800 提高了 35.2%和 24.2%。说明包膜复合肥有利于植株后期对氮素的需求,促进植株后期光合产物的积累。

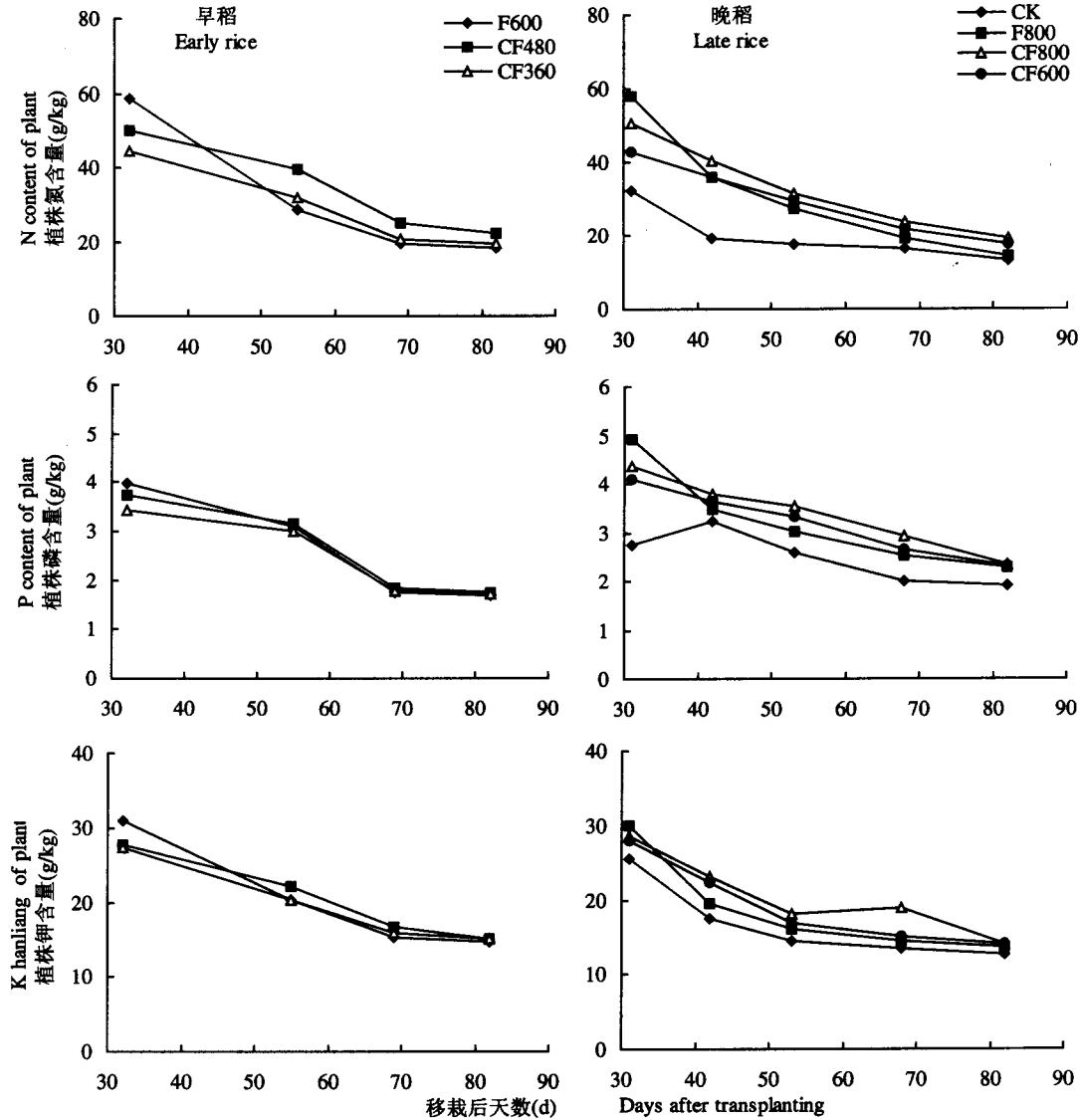


图 1 不同肥料处理对水稻植株养分含量的影响
Fig.1 Effect of different fertilizers on nutrient contents of rice plant

水稻植株磷素含量在分蘖期达到高峰,分蘖期后各处理都迅速下降,以施普通复合肥肥处理下降最快。早稻分蘖期植株磷素含量高低顺序为 F600 > CF480 > CF360;孕穗期至成熟期,由于普通复合肥

处理下降快,植株磷素含量高低为 CF480 > CF360 > F600,至成熟期 3 处理差异不大。包膜复合肥对晚稻磷素含量的影响与早稻一致。分蘖期以施普通复合肥处理(F800)最高,孕穗期以后则包膜复合肥处

理高于普通复合肥处理,至成熟期无显著差异(图 1)。

图 1 还看出,水稻植株钾素含量变化趋势磷素一致。分蘖期植株含钾量最高,然后迅速下降,在齐穗期后缓慢下降。在黄熟期早、晚稻各处理植株钾素的含量很接近,早稻植株钾素含量高于晚稻。同时还看出,包膜复合肥处理对维持水稻孕穗期后水稻较高的钾素含量具有明显的效果。

2.4 包膜复合肥对土壤速效养分的影响

图 2 看出,早、晚稻土壤碱解氮含量以最高分蘖期最高,随后逐步下降,成熟期降至最低点。肥料包膜复合肥处理能明显减缓早稻植株碱解氮含量的下降速度,孕穗期以后 CF480 处理土壤碱解氮含量高于 F600 处理,并且这种差异一直保持到成熟期。晚

稻则在孕穗期以后,包膜复合肥的 CF800 和 CF600 处理碱解氮含量均高于普通复合肥的 F800 处理。

包膜复合肥对土壤速效磷的影响不如土壤碱解氮明显,早稻各施肥处理土壤速效磷含量在各测定时期均较接近,但在晚稻上包膜复合肥处理可以在一定程度上增加土壤速效磷的含量。在孕穗期以后,包膜复合肥的 CF800 和 CF600 处理其土壤速效磷均高于 F800 处理(图 2)。

图 2 还看出,包膜复合肥对土壤速效钾的影响与土壤速效磷相似。早、晚稻速效钾含量均以分蘖期最高,随后迅速下降。在水稻孕穗期至乳熟期施包膜复合肥的土壤速效钾含量高于普通复合肥;至成熟期,不同肥料处理土壤速效钾含量差异不明显。

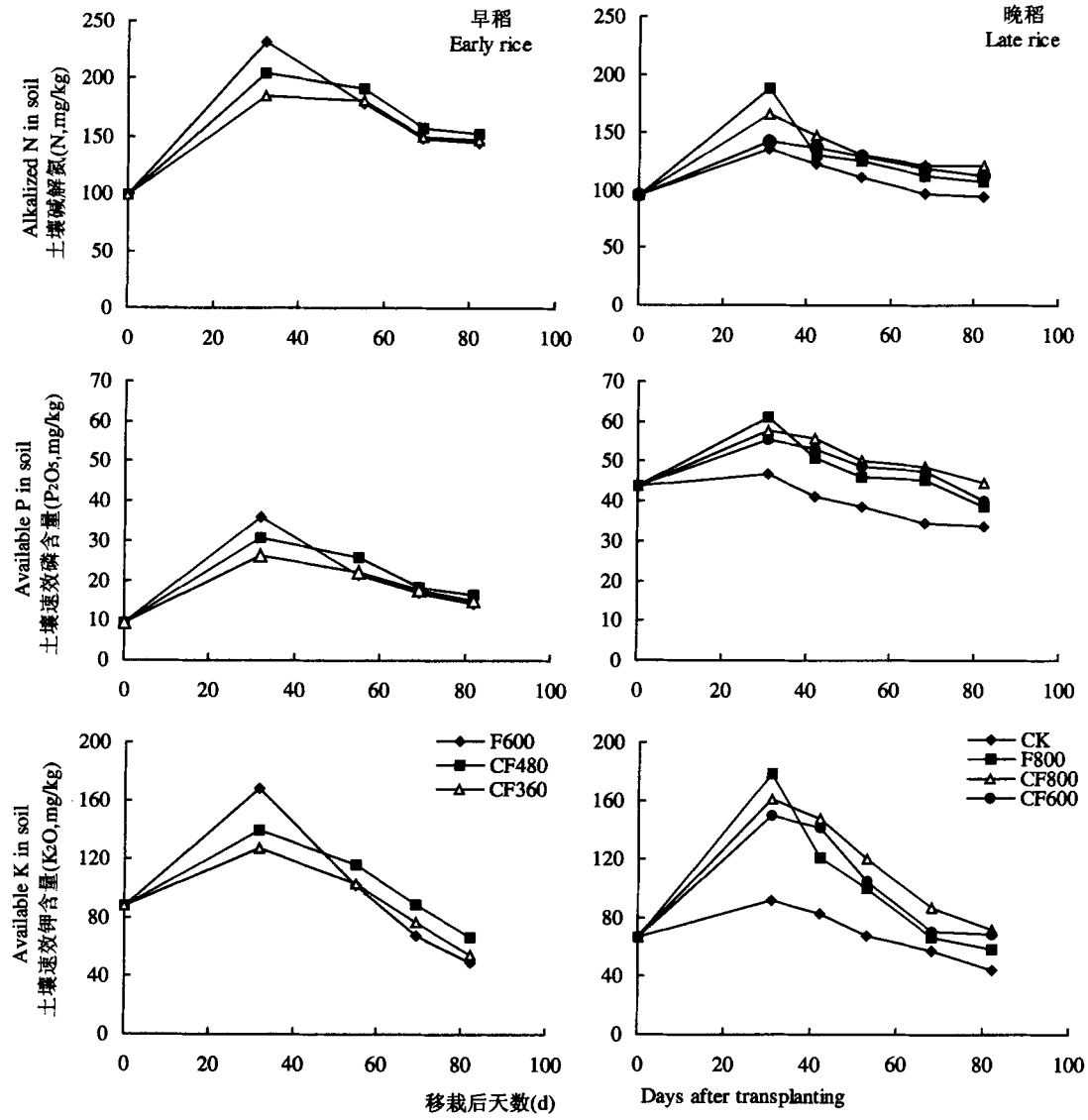


图 2 不同肥料处理的土壤速效养分含量的变化

Fig.2 Changes of available nutrients in paddy soils with different fertilizer treatments

2.5 包膜复合肥对水稻产量及其构成的影响

施用包膜复合肥,即使减少用量 20% 的处理 (CF480),早稻的有效穗数、每穗粒数、结实率及收获指数均高于施用全量的普通复合肥处理 (F600),其增产幅度达 12.8%。晚稻施用包膜复合肥 (CF800)

处理,其有效穗数、每穗粒数、结实率和收获指数均高于等养分量的普通复合肥处理 (F800),增产率达 13.6%;而减少养分量 25% 的包膜复合肥处理 (CF600)水稻产量比 F800 处理增加了 7.5%,仍达到 5% 的差异显著水平(表 4)。

表 4 不同施肥处理对稻农艺性状的影响
Table 4 Effects of different fertilizers on yield and agronomic properties of rice

处理 Treatment	有效穗数 Productive tillers ($\times 10^4/\text{hm}^2$)	每穗粒数 Grain per panicle (No.)	结实率 Setting grain (%)	千粒重 1000-grains wt (g)	经济系数 Harvest index (%)	产量 Yield Theoretic Harvest (kg/hm^2)	
早稻 Early rice							
100%	378.0	118.0	61.3	24.5	0.492	6698	5823.0c
- 20%	382.5	120.7	64.8	24.6	0.514	7359	6570.0a
- 40%	369.0	120.7	64.2	24.7	0.498	7062	6116.6b
晚稻 Late rice							
A	217.1	104.8	85.5	27.2	0.475	5288	4886.8d
B	341.7	113.8	82.4	27.3	0.494	8737	8164.7c
C	355.7	116.6	87.1	27.4	0.553	9895	9271.3a
D	346.2	114.7	85.8	27.3	0.536	9312	8780.7b

3 讨论

研究结果证明,在本试验条件下施用包膜复合肥,养分释放平稳,水稻生长健壮,并且在中后期可提供较多的营养,有效延缓叶片衰老,延长后期水稻叶片的功能期,增加后期干物质产量。有研究表明,水稻抽穗后的光合产物为水稻经济产量的主要来源^[13];对同一生育期的水稻叶片,叶片单位面积含氮量与光合速率呈正相关,而 SPAD 测定值与叶片单位面积含氮量密切相关^[14]。施用包膜复合肥能明显改善水稻生育后期的氮、磷、钾营养状况,水稻叶片衰老减缓,SPAD 测定值下降较缓,因而可以延长功能叶片的功能期,并促进光合产物向子粒中转运。

本试验结果看出,包膜复合肥对水稻的增产效应与前人的研究结果一致^[1, 4, 7-8, 15]。施用包膜肥后,水稻的农艺性状得到了明显的改善。包膜复合肥比普通复合肥减少用量 20% 和 40%,即 CF480 和 CF360 处理,早稻产量分别全量普通复合肥 (F600) 处理增加 12.8% 和 5.0%,均达 5% 显著水平。晚稻施用与普通复合肥等量和减少 25% 用量的包膜复合肥处理 (CF800 和 CF600),产量分别比普通复合肥 (F800) 处理增加 13.6% 和 7.5%,差异也均 5% 显著

水平。可见,本市本试验所采用的自行研究的包膜材料对复合肥进行包膜处理,能显著提高复合肥的施肥效应。

参 考 文 献:

[1] 陈见慧,曹一平,许涵,等. 有机高聚物包膜控释肥氮释放特性的测定与农业评价[J]. 植物营养与肥科学报,2002,8(1):44-47.
Chen J H, Cao Y P, Xu H *et al.* Appraisal of nitrogen releasing characteristics of organic polymer coating controlled-release fertilizer[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(1): 44-47.

[2] 樊小林,廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥科学报,1998,4(3):219-233
Fan X L, Liao Z W. Increasing fertilizer use efficiency by means of controlled release fertilizer (CRF) production according to theory and techniques of balanced fertilization[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(3): 219-233.

[3] 王新明,介晓磊,侯彦林. 中国控释肥料的现状与发展前景[J]. 土壤通报,2003,34(6):572-575.
Wang X M, Jie X L, Hou Y L. Current status and perspective of development of the controlled release fertilizer in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(6): 572-575.

[4] 宋波,毛小云,杜建军,廖宗文. 控释技术处理碳铵、尿素的肥效及其机理初探[J]. 植物营养与肥科学报,2003,9(1):50-56.
Song B, Mao X Y, Du J J, Liao Z W. Study on fertilizer efficiency and its mechanism of urea and ammonium bicarbonate treated with controlled-

- release technology[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9 (1): 50-56.
- [5] Shaviv A. Advances in controlled-release fertilizers [J]. *Advances in Agronomy*, 2001, 71: 1-49.
- [6] Kaneta y, Awasaki H, Murai T. The no tillage rice culture by single application of fertilizer in nursery box with controlled-release fertilizer[J]. *Jap. J. Soil sci plant Nutr*, 1994, 65: 385-391.
- [7] 符建荣. 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(2): 145-152
- Fu J R. Effects of controlled fertilizer on rice yield and N recovery[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(2): 145-152.
- [8] 郑圣先, 聂军, 熊金英, 等. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7(1): 11-16.
- Zheng S X, Nie J, Xiong J Y *et al.* Study on role of controlled fertilizer in increasing the efficiency of nitrogen utilization and rice yield[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(1): 11-16.
- [9] 张夫道. 氮素营养研究中的几个热点问题[M]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4 (4): 331-338.
- Zhang F D. Some hot points on nitrogen nutrition research[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(4): 331-338.
- [10] 张夫道, 赵秉强, 张骏, 等. 纳米肥料研究进展与前景[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8 (2): 254-255.
- Zhang F D, Zhao B Q, Zhang J *et al.* The progress and prospect on nano-fertilizers research [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(2): 254-255.
- [11] 白宝章, 靳占忠, 李德春. 植物生理生化测试技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- Bai B Z, Jin Z Z, Li D C. Measurement techniques for plant physiology and chemistry [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1995.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- Lu R K. Analysis methods for soil chemistry of agriculture [M]. Beijing: China science and Technology Press of Agriculture, 1999.
- [13] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- Ling Q H. Population quality of field crops [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2000.
- [14] Peng S B, Kenneth G. Cassman, Martin J. Kroff. Relationship between leaf photosynthesis and nitrogen content of field - grown rice in tropics[J]. *Crop Sci*, 1995, 35: 1627-1630.
- [15] Carreres R, Sendra J, Ballesteros R *et al.* Assessment of slow release fertilizers and nitrification inhibitors in flooded rice [J]. *Biol Fertil Soils*, 2003, 39: 80-87.