

缓释复合肥条件下覆盖旱作对水稻氮素利用和稻米品质的影响

苏胜齐^{1,2}, 王正银¹, 董燕¹, 叶学见¹

(1 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 西南农业大学水产学院, 重庆 400716)

摘要: 水稻旱作和施用缓/控释肥料是提高水肥利用率与减少生态环境污染的重要措施。该文采用田间试验和化学分析方法, 比较研究了施用无机缓释复合肥料 (ISF) 条件下, 3种表层管理方式—常规淹水 (CF)、地膜旱作 (DF)、秸秆覆盖旱作 (DS) 对冷烂型稻田水稻的生长、叶片氮素形态、氮肥利用率和稻米营养品质的影响。结果表明: 水稻植株收获期农艺性状 (株高、分蘖势、茎秆重、成穗数和粒重) 以DF较好, DF产量较CF和DS分别增加39.1%、41.4%; DF和DS水稻分蘖期和孕穗期叶片NO₃-N含量为CF的2倍以上。水稻分蘖期叶片氨基酸、蛋白氮和全氮含量均为DF>DS>CF。氮肥表观利用率 (ARE)、农业利用率 (AE) 和生理利用率 (PE) 均以DF>CF>DS。水稻分蘖期叶片的氮素营养状况对稻米氨基酸和蛋白质含量有明显影响, 覆膜旱作能提高稻米营养品质。

关键词: 水稻; 覆盖旱作; 缓释复合肥; 农艺性状; 氮素营养

中图分类号: S143.1; S511.06

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)03-0047-04

苏胜齐, 王正银, 董燕, 等. 缓释复合肥条件下覆盖旱作对水稻氮素利用和稻米品质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 47-50

Su Shengqi, Wang Zhengyin, Dong Yan, et al. Effects of slow-release compound fertilizer and mulched dry-farming on nitrogen use efficiency and quality of rice[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(3): 47-50 (in Chinese with English abstract)

0 引言

水稻常规淹水种植不仅耗水大, 而且化肥、农药的过量施用与流失会造成环境污染。水稻种植方式的革新探索发现, 利用塑膜、秸秆作为覆盖物实施覆盖栽培能达到土壤保墒、增温、培肥、节约水源和促长增产之效果^[1,2]。目前, 中国已对施用常规化肥的旱作水稻的生理生态效应和高产节水机理开展了不少研究^[1-5]。缓/控释肥料是肥效相对较长, 一次施用能满足作物至少一季生长需要的肥料, 也是能提高肥料利用率的生态型肥料^[6,7]; 将其应用于覆盖旱作水稻既可解决追肥不便的技术问题, 又可保证水稻全生育期对养分的需求, 达到提高肥料利用率和减轻生态环境污染的作用。而施用缓释肥条件下, 不同稻田表层覆盖方式对水稻的生物效应研究尚无报道。本文研究了施用无机缓释复合肥 (ISF) 条件下, 3种稻田表层管理方式—常规淹水 (CF)、覆膜旱作 (DF)、秸秆覆盖旱作 (DS) 对水稻部分农艺性状、产量、叶片氮素形态、氮肥效率和稻米品质特性的影响, 旨在为中国旱作水稻的优质、高产和高效栽培提供理论依据和物化技术。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验在西南农业大学实验农场进行, 供试土壤为三迭系侏罗纪沙溪庙组母质发育的中性紫色土 (淹水正冲田, 历年存在“坐蔸”或历年发生赤枯病), 其基本农化性状: pH值7.12, 有机质17.2 g/kg, 有效N、P、K分别为140.5、17.1和108.3 mg/kg。

1.2 供试材料

供试水稻 (*Oryza sativa* L.) 品种为岗优22号, 施用肥料为无机型水稻缓释复合肥 (ISF, N P₂O₅ K₂O = 15-7-8)。

1.3 试验方法

试验设4个处理 (表1), 施用缓释复合肥各处理施氮量相同, 设置无肥处理 (NF) 在于方便计算其它处理的氮肥利用率。各处理重复4次。小区面积2.2×1.2=2.64 m²。试验时, 水稻旱作区 (DF和DS) 排去田水, 次日划小区开厢, 并将开厢沟的土壤覆于小区内, 然后将供试肥料一次全部均匀撒施于小区内, 人工翻动表土, 使肥料与土壤充分混合。覆膜小区边缘的塑膜埋入泥土中, 随后在膜上按株行距20 cm×25 cm规格开孔, 每孔移栽1株水稻幼苗 (1~2个分蘖), 最后用泥土封孔; 覆盖稻秸处理者, 按覆膜区栽培规格移栽水稻, 然后按7500 kg/hm²施用量覆盖已切碎至10 cm左右的干稻草。旱作水稻生长过程中保持厢沟有少量积水, 达到浸润灌溉。淹水处理各小区做双埂, 常规方法淹水, 按旱作栽培规格移栽水稻。在水稻分蘖盛期 (移栽后42 d) 和孕穗期 (移栽后65 d) 取植株样品测定心叶下第1完全叶 (孕穗期取剑叶) 硝态氮、氨基酸氮、蛋白氮和全氮含量。

收稿日期: 2004-08-17 修订日期: 2004-12-10

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2001AA246022, 2004AA246020)

作者简介: 苏胜齐 (1970-), 男, 四川仁寿人, 讲师, 博士生, 主要从事植物营养与品质研究。重庆 西南农业大学资源环境学院, 400716, Email: sushengqi@swau.cq.cn

通讯作者: 王正银 (1953-), 男, 四川剑阁人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养与品质研究。重庆 西南农业大学资源环境学院, 400716, Email: wangzy@swau.edu.cn

水稻成熟期按小区分别收获,取4窝水稻植株考种,测定茎叶全氮含量和籽粒全氮、粗蛋白、水解氨基酸组分及淀粉含量。

表1 试验方案

Table 1 Experiment design

代码	处 理	施肥/kg·hm ⁻²
CF	淹水(CF)+ ISF	1000
DF	旱作地膜覆盖(DF)+ ISF	1000
DS	旱作稻秸覆盖(DS)+ ISF	1000
NF	淹水(无肥)	0

1.4 测定方法

按常规方法^[8]测定土壤农化性状。水稻植株叶片硝态氮用水提取,酚二磺酸显色分光光度法,叶片氨基酸总量用茚三酮显色分光光度法,叶片全氮、蛋白氮和稻

米粗蛋白含量用凯氏半微量定氮法(粗蛋白用系数法),稻米水解氨基酸用1:1 HCl水解并用氨基酸分析仪(883型)测定,淀粉用HCl水解—铜还原直接滴定法^[8]。氮肥表观利用率(ARE)、农业利用率(AE)和生理利用率(PE)的计算参照彭少兵等^[9]方法。

2 结果与分析

2.1 不同处理水稻的农艺性状和产量

1) 群体生长 由表2可知,水稻株高、分蘖数、茎秆重均以DF>CF>DS,表明覆膜旱作水稻温、湿条件得到改善,有利于土壤养分转化和根系吸收,促进植株分蘖和地上部生长发育;而稻秸覆盖增温效应差,水稻植株分蘖少,同时可能因氮素损失途径(挥发、淋失、渗漏等)相对较多,故群体生长较差。

表2 不同处理水稻植株收获期的农艺性状和产量

Table 2 Agronomic characteristics and yield of rice in different treatments at harvest stage

处理	株高/cm	穴分蘖数/穗	穴茎秆重/g	穴成穗数/穗	千粒重/g	穴籽粒重/g	小区产量/kg
CF	100.9	13.0	28.0	11.5	26.4	34.4	1.847±0.083 b B
DF	105.5	14.3	33.1	14.0	26.9	45.7	2.436±0.067 a A
DS	103.3	11.8	25.5	11.0	26.9	32.3	1.723±0.097 c B
NF	89.2	8.5	15.8	8.5	25.3	26.3	1.204±0.065 d C

注:同一列数据后不同大、小写字母表示处理间差异达1%和5%显著水平。

2) 小区产量 试验结果表明,DF小区产量较CF和DS分别提高31.9%和41.4%,达极显著差异;CF又较DS提高7.2%,达到显著差异(表2)。这与艾应伟等^[1]试验的水稻产量以旱作地膜覆盖>常规淹水>旱作麦秸覆盖的研究结果相一致。本试验水稻的最终成穗数表现出与小区产量相同的差异特性,即DF>CF>DS,说明分蘖成穗数是影响旱作水稻产量的主要因素^[2]。

从表2还可看出,无肥处理(NF)的水稻植株群体生长差,小区产量约为施肥处理的50%~70%,表明供试土壤的基础肥力状况是适宜进行施肥试验研究的。

2.2 不同处理水稻的叶片氮素形态变化

由表3可知,从分蘖期到孕穗期阶段,4个处理的叶片硝态氮、氨基酸、蛋白氮和全氮含量都表现为分蘖盛期高于孕穗期,说明水稻吸氮率以分蘖盛期最高。

表3 水稻分蘖期和孕穗期的叶片氮素形态与茎秆重

Table 3 Nitrogen forms in leaf and straw weight of plant at tillering and booting stages of rice

处理	硝态氮/mg·kg ⁻¹		氨基酸/mg·kg ⁻¹		蛋白氮/%		全氮/%		每穴茎秆重/g	
	TS	BS	TS	BS	TS	BS	TS	BS	TS	BS
CF	42.6	34.2	5783	3745	1.69	1.49	2.32	2.04	6.3	49.0
DF	90.8	68.4	6372	4992	2.14	1.53	2.72	2.06	10.8	64.9
DS	91.8	76.0	5804	4657	1.87	1.44	2.56	1.85	8.3	51.8
NF	35.7	17.4	4307	3061	1.40	1.27	2.03	1.81	7.2	28.4

注:TS表示分蘖期,BS表示孕穗期。

1) 硝态氮 无论是分蘖期还是孕穗期,DF和DS的水稻叶片硝态氮含量相近,但都比CF高出1倍多。这说明旱作水稻土壤根系氧供应充足,土壤硝化作用远大于反硝化作用,即旱作条件下水稻氮素营养以吸收硝态氮为主^[10];同时,大量NO₃-N进入植物体后,因根部碳水化合物数量不足,NO₃-N大部分不能在根部还原同化,需通过木质部运往地上部进行同化^[11]。

2) 氨基酸 氨基酸是植物蛋白质、核酸、叶绿素、生物碱和多种含氮化合物的前体,其在体内含量可指示外界的供氮水平及植物自身的氮素营养状况。本试验结果显示,DF水稻分蘖期和孕穗期叶片氨基酸含量均最

高,比DS分别提高9.8%和7.2%,比CF分别增加10.2%和33.3%。这说明水稻覆膜旱作栽培时,由于土壤和肥料养分淋失减少,土壤温度较高,湿度相对稳定,土壤微生物活动旺盛,从而促进水稻对氮素的吸收和利用^[3,4]。

3) 蛋白氮和全氮 水稻功能叶片含氮量对光合作用及产量形成有很大影响。试验不难看出,水稻分蘖期叶片蛋白氮和全氮含量均以DF>DS>CF,说明旱作有利于水稻叶片氮素积累并转化形成蛋白质。从分蘖期到孕穗期DF叶片的蛋白氮含量降低量明显大于CF,这可能与旱作条件下叶片中的蛋白氮的快速转运和该阶段

DF 生物量的快速增加导致的“稀释”效应较强有关。而此阶段DS 叶片蛋白氮含量的降低较快可能是土壤供氮能力暂时性降低所致, 因为此阶段稻秸处于分解盛期, 土壤氮素会被部分固定^[1]。

2.3 不同处理水稻的氮肥效率

由图1可知, 施用缓释复合肥的3个处理的水稻籽粒、茎秆吸N量均以DF > CF > DS, 表明覆膜旱作促进了水稻对氮素的吸收。从籽粒吸N量与茎秆吸N量之比来看, DF为2.91, DS为2.56, CF为2.45, 说明旱作有利于氮素向籽粒转移积累。虽然无肥处理茎秆和籽粒的吸氮量均较低, 但籽粒吸N量与茎秆吸N量之比为3.13, 说明水稻缺肥情况下, 氮素更多用于生育器官的物质积累。

试验结果表明, DF处理的氮肥表观利用率(ARE)和农业利用率(AE)均为CF和DS的2倍左右(图2), 生理利用率(PE)也高。这说明表层管理方式对水稻的氮素代谢和氮肥利用率影响明显。覆膜旱作栽培时, 氮素挥发、淋失及反硝化作用引起的肥料损失受到抑制^[3,5], 加之较高的土壤温度和氧化环境又有利于土壤中物质的转化与循环, 使氮素养分更易被水稻植株吸收利用^[12], 而淹水和生稻秸覆盖旱作, 氮素容易损失, 水稻氮素利用效率降低。

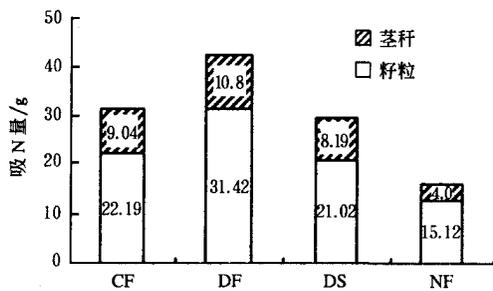
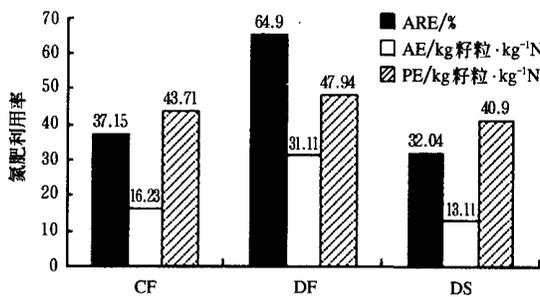


图1 水稻小区吸N量

Fig. 1 N uptake of rice plot in different treatments



ARE—氮肥表观利用率 AE—农业利用率 PE—生理利用率

图2 不同处理水稻氮肥利用率

Fig. 2 Use efficiency of fertilizer N in different treatments

2.4 不同处理的稻米品质及其与叶片氮素含量的关系

表4显示, DF稻米的蛋白质含量为8.86%, 较CF的8.39%提高0.47个百分点, 较DS的8.45%提高0.41个百分点, 表明覆膜旱作有利于水稻地上部分干物质的合成、运转分配和积累。DF水稻的必需氨基酸(EAA)、

重要呈味氨基酸(DAA)和总氨基酸(TAA)都高于DS和CF, 表明覆膜旱作在提高水稻产量(表2)的同时, 还可能改善稻米营养品质。施用缓释复合肥处理的稻米淀粉总量均有所增加。

在影响作物产量形成的叶、茎鞘和根三大源(物能供给系统)中, 叶片是水稻最为重要的源器官。试验结果发现, 4个不同处理的水稻分蘖盛期叶片氨基酸、蛋白氮和全氮含量与稻米EAA、TAA等营养物质的积累存在着相同的变化趋势(表4)。

表4 稻米品质及分蘖期叶片氮素形态含量

Table 4 Quality of rice and nitrogen forms of leaf at tillering stage

项 目	CF	DF	DS	NF
蛋白质/%	8.39	8.86	8.45	6.66
必需氨基酸/%	3.58	4.29	3.82	3.17
重要呈味氨基酸/%	4.38	5.05	4.45	3.68
总氨基酸/%	9.91	11.55	10.28	8.45
淀粉/%	64.1	63.9	63.6	61.4
叶片氨基酸/mg · kg ⁻¹	5783	6372	5804	4307
全氮/%	2.32	2.72	2.56	2.03
蛋白氮/%	1.69	2.14	1.87	1.40

注: 表中重要呈味氨基酸包括Glu, Asp, Gly, Ala, Pro。

3 讨 论

3.1 覆膜旱作和缓释复合肥对水稻氮素利用的增效作用

本试验发现冷烂型淹水稻田地膜覆盖旱作结合施用缓释复合肥种植水稻, 移栽后植株返青快, 分蘖早, 水稻产量和氮素利用率较其它处理大大提高。这一方面得益于覆膜旱作的增温、保墒、保肥的效应^[1-3], 通过覆膜旱作可能解决冷烂型稻田水冷、泥冷、土壤养分有效性低、植株根系吸收功能差等限制水稻正常生长的障碍因子和减少养分挥发和淋失等, 为其正常生长营造了良好的土壤微域生态环境, 促进水稻早生快发, 提高水稻生物量和产量, 进而提高氮素利用效率。另一方面, 缓释肥料养分释放速率与作物的需肥规律相协调, 对作物伤害小、氮素养分淋失和氨挥发少^[6], 且供试缓释复合肥的N、P、K养分量比能满足水稻的营养需求, P、K的协调供应能促进水稻对N素的利用。因此, 地膜覆盖与施用缓释复合肥的水稻栽培模式可在南方冬水田尤其是长期淹水的冷烂型稻田中示范应用。

3.2 稻草覆盖对旱作水稻的效应

本试验条件下, 施相同的缓释复合肥时, 覆盖生稻草旱作水稻的产量和氮肥效率均不及淹水栽培。其原因可能在于, 干稻草C/N比(一般为61.8~67.1)左右)较高, 超出秸秆腐解的适宜C/N比范围((20~25)

1)^[13], 施入土壤后其丰富的碳源会刺激微生物迅猛活动, 导致化肥N的大量生物固定, 减少化肥N对当季水稻的供应^[1]。同时, 生稻草覆盖旱作, 一是透光差, 即早期入射到稻田土壤表面的光照较少, 以致冷烂型稻田旱作的增温、保温作用较差; 二是土壤中的氮素可能通

过挥发、淋失等途径损失。石英等^[5]研究发现,半腐解秸秆覆盖旱作水稻在植株生长、稻谷产量和水分利用率等方面优于秸秆覆盖旱作和塑膜覆盖。显然,对于土壤温度低的冷烂型稻田,在限制植物根系生长的低温问题尚未解决之前,缓释复合肥的良好作用难以体现出来。若在一次施用缓释复合肥条件下,采用半腐解秸秆与地膜双覆盖旱作种植水稻能否获得更佳的效应,则将是长期淹水稻田的又一种新的栽培模式或利用途径。对此,有待今后加以深入研究。

4 结 论

1) 冷烂型稻田施用缓释复合肥条件下,水稻收获期的株高、分蘖势、茎秆重、成穗数、粒重和产量以地膜覆盖旱作较好,其中DF产量较CF和DS分别增加39.1%和41.4%。

2) 冷烂型稻田施用缓释复合肥条件下,DF和DS水稻分蘖期和孕穗期叶片 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 含量较CF高出1倍以上。水稻分蘖期叶片氨基酸、蛋白氮和全氮含量均为 $\text{DF} > \text{DS} > \text{CF}$ 。水稻籽粒吸N量、茎秆吸N量以及氮肥的表观利用率、农业利用率和生理利用率均以 $\text{DF} > \text{CF} > \text{DS}$ 。

3) 水稻分蘖期叶片的氮素营养状况对稻米氨基酸和蛋白质含量有明显影响,覆膜旱作能提高稻米营养品质。

[参 考 文 献]

[1] 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[J]. 土壤学报,2004,41(1): 152- 155

- [2] 盛海君,沈其荣,封克 覆盖旱作水稻群体发育特征分析[J]. 应用生态学报,2004,15(1): 59- 62
- [3] 黄义德,张自立,魏凤珍,等 水稻覆膜旱作的生态生理效应[J]. 应用生态学报,1999,10(3): 305- 308
- [4] 梁永超,胡锋,杨茂成,等 水稻覆膜旱作生产节水机理研究[J]. 中国农业科学,1999,32(1): 26- 32
- [5] 石英,沈其荣,茆泽圣,等 旱作条件下水稻的生物学效应及表层覆盖的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(3): 271- 277.
- [6] 武志杰,陈利军 缓释/控释肥料:原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2003: 9- 13,107- 185
- [7] Shaviv A. Advances in controlled-release fertilizers [J]. Advances in Agronomy, 2001, 71: 1- 49
- [8] 史瑞和 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1996: 29- 91, 213- 214, 232- 262
- [9] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学,2002,35(9): 1095- 1103
- [10] 石英,沈其荣,冉炜 半腐解秸秆覆盖下旱作水稻对 ^{15}N 的吸收和分配[J]. 中国水稻科学,2002,16(3): 236- 242
- [11] 石英,沈其荣,茆泽圣,等 旱作水稻根际土壤铵态氮和硝态氮的时空变异[J]. 中国农业科学,2002,35(5): 520- 524
- [12] 廖敏,谢晓梅,吴良欢 水稻覆膜旱作对稻田土壤微生物生态质量的影响[J]. 中国水稻科学,2002,16(3): 243- 246
- [13] 胡蔼堂 植物营养学(下册,第2版)[M]. 北京:中国农业大学出版社,1991: 229- 233

Effects of slow-release compound fertilizer and mulched dry-farming on nitrogen use efficiency and quality of rice

Su Shengqi^{1,2}, Wang Zhengyin¹, Dong Yan¹, Ye Xuejian¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China;

2. College of Aquaculture, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

Abstract Rice dry-farming and applying slow-release or controlled-release compound fertilizer could not only improve the use efficiency of water and fertilizer but also abate the environmental pollution. Under the condition of applying the same inorganic slow-release compound fertilizer (ISF), a field experiment was conducted in cold and rotten flooded paddy field to investigate the effects of three different paddy surface managements, i.e. conventional flooding (CF), dryland covered with plastic film (DF) and dryland covered with straw (DS) on the growth characteristics and yield of rice, nitrogen forms in leaf, fertilizer-N use efficiency, contents of amino acid and protein in rice. Results indicated that the rice agronomic characteristics (plant height, tillering capacity, straw weight, number of spike and grain weight) of DF were the best. Compared with the rice yields of CF and DS, the rice yield of DF was increased by 39.1% and 41.4%, respectively. At tillering stage of rice, the contents of amino acid, protein nitrogen and total nitrogen in rice leaf were in the order of $\text{DF} > \text{DS} > \text{CF}$. However, at tillering and booting stages, the contents of $\text{NO}_3^- \text{N}$ for DF and DS were about twice as many as that of CF. The apparent recovery rate and agronomic efficiency and physiological efficiency of nitrogen for rice were in the order of $\text{DF} > \text{CF} > \text{DS}$. It was indicated clearly that the nitrogen nutrition in rice leaf at tillering stage affected the contents of amino acids and protein in rice and dryland covered with plastic film could improve the quality of rice.

Key words rice; mulched dry farming; controlled-release compound fertilizer; agronomic characteristics; nitrogen nutrition