

覆盖旱作方式和施氮水平对稻-麦轮作体系
生产力和氮素利用的影响

范明生¹, 刘学军¹, 江荣风¹, 张福锁^{1*}, 吕世华², 曾祥忠²

(1. 中国农业大学植物营养系, 农业部植物营养学重点实验室, 教育部植物-土壤相互作用过程重点实验室, 北京 100094;
2. 四川省农科院土肥所, 成都 610066)

摘要:在成都平原通过 3a 的田间试验研究了水稻覆盖(地膜和麦秸)旱作和施氮水平对稻麦轮作体系生产力和氮素利用的影响。结果表明:在施氮量为水稻季150kg/hm²,小麦季120kg/hm²的条件下,覆盖旱作和传统淹水体系均能达到较高的产量水平。再增加施氮量对产量的影响不大,但使氮盈余急剧增加。不施氮或低量施氮会造成作物产量的显著下降和土壤氮素亏缺。水稻覆膜旱作对稻麦轮作的系统生产力(水稻+小麦)没有显著影响;但水稻覆麦秸旱作条件下系统的生产力有降低的趋势,主要由于水稻覆麦秸旱作条件下,水稻产量下降,而麦秸覆盖在小麦季的后效作用不足以弥补水稻产量的下降程度。水稻、小麦的氮素吸收表现出与作物产量类似的规律。水稻季土壤很难累积无机氮,而且与施肥和覆盖旱作与否没有关系。小麦季土壤中积累了较多的无机氮,而且随施氮水平的增加而明显增加。

关键词:水稻-小麦轮作;覆盖旱作;氮肥;氮素平衡;无机氮残留;秸秆利用

Effects of non-flooded mulching cultivation and N rates on productivity and N utilization in rice-wheat cropping systems

FAN Ming-Sheng¹, LIU Xue-Jun¹, JIANG Rong-Feng¹, ZHANG Fu-Suo^{1*}, LÜ Shi-Hua², ZENG Xiang-Zhong²

(1. Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Key Laboratory of Plant Nutrition, MOA, Key Laboratory of Plant-Soil Interaction Process, MOE, Beijing 100094, China; 2. Institute of Soil and Fertilizer, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2591~2596.

Abstract: Non-flooded mulching rice cultivation has been adopted and developed as a new water-saving cultivation technique in many regions of China since the late 1980s. But information on the effects of non-flooded mulching cultivation of rice on the productivity and sustainability of rice-wheat cropping systems is still limited. A unique feature of lowland rice - upland winter wheat systems is the annual conversion of soil from aerobic to anaerobic and then back to aerobic conditions. Non-flooded mulching cultivation alters the rice growth environment through changes in soil water condition and leads to a prolonged aerobic phase in rice-wheat cropping systems. That causes a difficulty to conserve soil organic matter and soil nitrogen in the cropping systems, and therefore maybe affects productivity and sustainability of such cropping systems. Additionally, N management of cropping systems is the other issue that is important to agricultural sustainability. The changes in soil hydrological status from anaerobic (traditional flooding) to aerobic (non-flooded mulching) will largely affect the N forms and even N availability in soil. It is essential to examine the effects of non-flooded mulching cultivation on the N utilization and the N balance in rice-wheat cropping systems.

A field experiment was conducted to determine the effects of non-flooded mulching rice cultivation and different N

基金项目:国家重大基础规划资助项目(1999011707);教育部重大资助项目(0112);国家自然科学基金重大资助项目(30390080)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhangfs@cau.edu.cn

收稿日期:2003-10-08;修订日期:2004-04-17

作者简介:范明生(1974~),男,山西偏关人,博士生,主要从事农田养分资源管理。E-mail: fanms@eyou.com

Foundation item: The Major State Basic Research Programme of China (No. 1999011707); The Major Research Programme of the Chinese Ministry of Education (No. 0112); The National Natural Science Foundation of China (No. 30390080)

Received date: 2003-10-08; **Accepted date:** 2004-04-17

Biography: FAN Ming-Sheng, Ph. D. candidate, mainly engaged in nutrient management in agroecosystems.

application rates on the productivity and N utilization in rice-wheat cropping systems of the Chengdu plain in southwest China over a 3- year period. The experiment included three cultivation systems: TF(traditional flooding system), PM (plastic film mulching system) and SM (wheat straw mulching system) during rice seasons, and zero tillage cultivation during wheat seasons; and four N application rates: N0 (0 kg N/hm²to both rice and wheat), N1 (75 kg N/hm²to rice and 60 kg N/hm²to wheat), N2 (150 kg N/hm²to rice and 120 kg N/hm²to wheat), and N3 (225 kg N/hm²to rice and 180 kg N/hm²to wheat). All treatments received the same rates of P (90 kg P₂O₅/hm² to rice, and 60 kg P₂O₅/hm² to wheat, as calcium superphosphate) and K (90 kg K₂O/hm²to rice, and 60 kg K₂O/hm²to wheat, as potassium sulphate). Treatments were laid out in a split-plot randomized complete block design in triplicate.

There were significant grain yield responses to N fertilizer. N application of > 150 kg /hm²for rice and >120 kg /hm²for wheat gave no further increase in crop yield in the non-flooded mulching cultivation systems and traditional flooding cultivation system. Average rice grain yield of PM was similar to that of TF. Average rice yield of SM decreased by 13% compared with that of TF. Plastic mulching of preceding rice did not affect the yield of the succeeding wheat crop, but straw mulching had a residual effect on the succeeding wheat. The productivity of the system (total grain yields of rice and wheat) under PM was similar to that of TF, and higher than that of SM across all N treatments. N uptake by crops showed a similar trend as crop yields in the three cultivation systems. Soil mineral N contents (0~60 cm) after the rice harvest ranged from 51 to 58 kg /hm² and were least affected by non-flooded mulching cultivation and N rate. After wheat harvest, soil mineral N content ranged from 71 to 96 kg /hm² and increased with increasing fertilizer N rate. High N application rate (N2 and N3) led to higher N balance surpluses (44 to 197 kg /(hm² · a)), while low N inputs (N0 and N1) resulted in balance deficits (− 2 to − 129 kg/(hm² · a)). The present results emphasize the need to evaluate the benefit and the long-term environmental risk of non-flooded mulching cultivation, and to improve the system productivity (especially that of SM) by integrated resource management.

Key words:rice-wheat cropping system; non-flooded mulching cultivation; nitrogen; nitrogen balance; residual soil Nmin; straw management

文章编号:1000-0933(2004)11-2591-06 中图分类号:S151 文献标识码:A

稻-麦轮作是我国西南地区农业生产的主要种植体系之一。但是,灌溉水资源短缺已成为限制这一体系生产力和可持续性的主要因子。在这一地区,由于小麦收获和水稻移栽间隔时间短,农民为了抢季节,焚烧小麦秸秆现象也非常普遍,这不但损失有机碳和养分,而且带来严重的环境污染^[1]。因此,发展水稻节水栽培技术和有效利用作物秸秆技术具有重要的现实意义。

20 世纪80 年代以来,水稻地膜覆盖旱作栽培技术在我国发展较快,取得了显著的节水和高产效果,一些研究者也对水稻覆膜旱作的节水高产机理,环境生态学意义进行了较为详细的研究^[2~6]。然而,水稻覆膜旱作对水稻-小麦轮作体系影响的报道不多。水稻-小麦轮作的一个显著特征是土壤在年内干湿交替,水稻从淹水栽培改为旱作后,土壤的旱作时间延长,土壤有机质分解可能加快,是否会对下季小麦的生产力造成较大的影响,进而影响整个体系的生产力和可持续性?这一问题尚不清楚。用秸秆覆盖进行水稻旱作近几年也取得了一定的进展,但是由于麦秸覆盖旱作的水稻产量低而不稳定^[1,7,8],因此限制了这一技术的应用。有报道表明:秸秆覆盖还田能提高5~15cm 表土的全氮和有机质含量^[9]。而在稻麦轮作条件下,水稻用麦秸覆盖旱作是否有利于后季小麦生产力的提高,从而弥补麦秸覆盖条件下水稻产量低而不稳而造成的系统生产力下降问题,也是人们关注的科学问题。此外,有效的氮素管理是农业可持续发展的另一热点问题。水稻覆盖旱作条件下,土壤的氮素形态和有效性等与淹水条件下有很大不同,因此也有必要阐明不同覆盖旱作和施氮量条件下的氮素利用和氮素平衡问题。

本研究旨在确定不同的水稻覆盖旱作方式和施氮水平对水稻-小麦轮作体系的生产力和氮素利用的影响,为提高稻麦体系的生产力和可持续性提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

田间试验始于2000 年5 月,在四川省温江县天府镇灰色冲积性水稻土上进行,种植方式为水稻-小麦轮作。土壤pH 7.2,有机质18.4 g/kg,全N1.8 g/kg,土壤速效P(Olsen-P)5.5 mg/kg,速效K(NH₄OAc-K)40.0 mg/kg。水稻整个生育期降水量在2000 年为455.5mm,2001 年为741.6 mm,2002 年为791.9mm。小麦整个生育期的降水量在2000~2001 年为80.4mm,2001~2002 年为150.2mm,2002~2003 年为129mm。

试验为2 因素设计:因素1 是3 个种植体系,传统淹水体系(TF),水稻覆膜旱作体系(PM)和水稻覆麦秸旱作体系(SM)。因

素2为4个氮水平:N0(两季作物均不施氮),N1(水稻季75 kg N/hm²,小麦季60 kg N/hm²),N2(水稻季150 kg N/hm²,小麦季120 kg N/hm²),N3(水稻季225 kg N/hm²,小麦季180 kg N/hm²)。试验共12个处理,每个处理重复3次,随机区组排列。氮肥为尿素。在水稻季,所有氮肥与750kg/hm²过磷酸钙、150 kg/hm²氯化钾做基肥于水稻移栽前一次施用。在小麦季一半氮肥和500kg/hm²过磷酸钙、100 kg/hm²氯化钾做基肥施用,另一半氮肥于小麦拔节期作追肥施用。

小区面积15 m²(3 m×5 m),小区四周筑有50 cm宽、30 cm左右高的田埂,区组间间隔2m;在旱作小区与常规灌溉小区相邻的田埂中间用塑料薄膜纵向间隔,膜入土深60cm左右,防止灌溉水分侧渗影响旱作小区。

1.2 栽培管理及取样测定

在水稻季,各小区施肥后,旱作小区覆地膜或麦秸(麦秸量5250 kg/hm²,相当于上季小麦单位面积的秸秆产量,含氮约26kg/hm²),地膜紧贴地面,麦秸均匀覆盖地表,不露土面。供试水稻品种为2000年岗优527杂交稻,2001和2002年为香优1号(试验从2001年开始,综合考虑了不同覆盖措施对水稻品质的影响,故选用了优质杂交稻)。插秧密度为:行距30cm,株距18.5cm,每穴2株,180 000穴/hm²。旱作处理用小铲挖穴,栽秧。除插秧后10d左右的时间内,田面保留一浅水层外,整个生育期雨养。传统处理按当地淹水管理。小麦免耕直播,品种为SW3243,3个体系均按当地管理方法管理。

作物成熟后,整个小区收获,脱粒后烘干测产,水稻以14%含水量计产,小麦以籽粒干物重计产。水稻移栽前,收获后和小麦收获后分别取0~20cm,20~40cm,40~60cm土壤样品,用0.01mol/L的CaCl₂浸提,TRACCS2000型连续流动分析仪测定NH₄⁺-N和NO₃⁻-N,植物样品采用开氏法定氮,其他项目采用常规方法,所有数据均采用SAS系统软件统计检验。

2 结果与讨论

2.1 覆盖方式和施氮水平对作物产量的影响

从表1可以看出,除2002~2003小麦季,施氮与对照处理的小麦产量差异不显著外,在其他年份的每一个种植体系下,施氮显著地增加了水稻、小麦以及系统的产量。在3个施氮处理之间,随施氮量的增加,水稻的产量也有增加的趋势,但是在2000季和2002季的传统淹水体系与覆地膜体系,3个施氮处理差异不显著;在2001季,N3显著高于N1而与N2差异不显著。2002季的覆麦秸体系N3水平下获得了最高的产量。对于小麦来说,在2000~2001季,N2处理的产量是最高的,而且与N1和N3相比达到显著水平,在2001~2002季和2002~2003季,3个施氮处理间差异不显著。在系统水平上,N2与N3处理差异不显著,除个别处理外,N2、N3要显著的高于N1。从3a的结果总体来看,在供试土壤肥力水平和生产条件下,3个体系在N2水平下,作物能够稳定地获得较高产量。其他的研究结果也表明:水稻或小麦等作物,每公顷施氮120~150 kg,已能达到较高的产量水平^[10]。

与传统淹水体系相比,覆地膜体系的水稻平均产量有增加趋势,而且在2001季达到显著水平。大量的报道也表明:地膜覆盖旱作水稻能够获得与传统淹水相似或比传统淹水更高的产量^[6,8],其高产机理在于地膜覆盖改善了土壤水热状况,促进土壤生物活性,加快有机碳的矿化进程,促进水稻根活性,提高了土壤养分的有效性^[2~5]。但是覆地膜体系的小麦平均产量在2001~2002季显著低于传统淹水体系,这主要与2001~2002小麦季覆地膜体系的土壤供氮能力下降有关,在2000~2001季与2002~2003季,两个体系的小麦平均产量不存在差异。

对于覆麦秸体系来说,与传统淹水体系相比,水稻平均产量在2000季和2002季显著地降低了,但在2001季两个体系没有差异;3年平均减产率为13%。麦秸覆盖旱作水稻减产的原因一方面是因为水稻生育前期土表温度低^[1,11],从而可能影响了水稻根系的活力和土壤有机质的矿化以及秸秆腐解对氮的固定作用减少了养分的有效性;另一方面可能与秸秆分解过程中释放的中间产物如有机酸、酚类化合物等对水稻产生了毒害作用有关。不过水稻季麦秸覆盖对后季小麦表现出一定的后效作用,与传统淹水体系相比,覆麦秸体系显著增加了2000~2001季小麦平均产量。在温江进行的另一个水稻覆麦秸旱作试验中,后季小麦氮肥投入减半的处理(60kg/hm²)获得了比全量施肥处理(120kg/hm²)更高的产量^[11]。

在系统水平上,覆地膜体系与传统淹水体系的平均产量没有差异,这表明水稻地膜覆盖旱作对稻麦轮作体系系统的生产力没有影响;但是水稻麦秸覆盖旱作有使稻麦轮作体系的生产力降低的趋势,并且在2000~2001与2002~2003季达到显著水平,这主要是因为麦秸覆盖旱作使水稻减产13%,而麦秸的后效作用不能弥补水稻产量的下降程度。

水稻产量在年际间的差异可能一是因为品种不同,二是因为气候年型的不同。2000年采用了岗优527杂交稻,而且2000年在水稻的生育后期,降雨相对较少,光照充足,所以获得了比2001和2002年略高的产量。小麦产量在年际间的差异主要是气候年型不同所致。

2.2 施氮和覆盖方式对作物氮素吸收的影响

2.2.1 施氮对作物氮素吸收的影响 表2表明了氮水平对水稻小麦氮素吸收的影响。可以看出:施氮显著地影响了作物对氮素的吸收。在3个施氮处理之间总体来看:随施氮水平的提高,水稻和小麦对氮的吸收有增加的趋势,而且在2001年的水稻季,达到显著水平。2000~2003的小麦季,没有差异;在其他4个季节的的规律是:N2和N3差异不显著,却显著的高于N1和N0。这与处理间作物地上部生物量的变化规律基本一致。

表 1 覆盖方式和施 N 水平对水稻和小麦产量的影响(kg/hm²)

| Table 1 Effect of mulching and N-Rate on rice and wheat yield | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|---------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| 覆盖方式 ^① Mulching | 施 N 水平 N rate | 水稻 Rice | | | 小麦 Wheat | | | 系统 System (R+W) | | |
| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2000~2001 | 2001~2002 | 2002~2003 | 2000~2001 | 2001~2002 | 2002~2003 |
| 传统 | N0 | 5266b | 5092c | 4302b | 2960d | 3059b | 3097a | 8226b | 8151c | 7399b |
| 淹水 | N1 | 7597a | 5998b | 5925ab | 4287c | 4263a | 4380a | 12523a | 10261b | 10306a |
| TF | N2 | 8135a | 6717ab | 6712a | 5047a | 4862a | 4368a | 13182a | 11580a | 11080a |
| | N3 | 7892a | 7096a | 5892ab | 4584b | 4838a | 4399a | 12476a | 11934a | 10291a |
| | 平均 ^② Mean | 7222 | 6226 | 5708 | 4219 | 4256 | 4061 | 11602 | 10481 | 9769 |
| 覆地膜 | N0 | 6093b | 6148c | 4730b | 3088d | 2599c | 3494a | 9180c | 8747c | 8967b |
| PM | N1 | 7307a | 6528b | 5894ab | 4449c | 3548b | 4513a | 11755b | 10076b | 10408ab |
| | N2 | 7978a | 6777ab | 6509a | 5253a | 4448a | 3833a | 13230a | 11224a | 10342ab |
| | N3 | 7959a | 6943a | 6922a | 4769b | 4144ab | 4311a | 12728a | 11087a | 11232a |
| | 平均 Mean | 7334 | 6599 | 6014 | 4390 | 3685 | 4038 | 11724 | 10284 | 10237 |
| 覆麦秸 | N0 | 4042b | 5579c | 3120b | 3331d | 3494b | 3864a | 7372c | 9073c | 6984b |
| SM | N1 | 5944a | 6236b | 4202b | 4487c | 4426a | 4046a | 10431b | 10662b | 8249ab |
| | N2 | 7042a | 6593ab | 4219b | 5963a | 4480a | 5129a | 13005a | 11073ab | 9348ab |
| | N3 | 7196a | 6872a | 6512a | 4861b | 4364a | 4275a | 12057a | 11236a | 9888a |
| | 平均 Mean | 6501 | 6320 | 4288 | 4660 | 4191 | 4329 | 10717 | 10511 | 8617 |
| | 平均值 | 467 | 254 | 636 | 75 | 252 | 524 | 473 | 334 | 971 |
| | 的 LSD _{0.05} ^③ | | | | | | | | | |
| | M×N 效应 ^④ | NS | NS | NS | * * | NS | NS | * | * | NS |
| | M×N Interaction | | | | | | | | | |

①同一列中同一覆盖方式下带有相同字母表示不同施氮水平间的作物产量在 0.05 水平差异不显著(下同)Values with the same letter in a column are not significantly different at 0.05 level in every cropping system;②每一种植方式下 4 个氮水平的平均产量 Crop average yield of every cropping system across four N rates;③不同种植方式间作物产量的最小差异显著性 The LSD of crop average yield among three systems;④覆盖方式和施氮的交互效应 Interaction between mulching and N application;NS 差异不显著 No significant difference; * 在 0.05 的水平差异显著 Significant difference at 0.05 level; * * 在 0.01 的水平差异显著 Significant difference at 0.01 level

2.2.2 覆盖方式对作物氮素吸收的影响 表 3 列出了在 N₂ 水平下不同覆盖方式对水稻小麦氮素吸收的影响。在 2001 年水稻季、2001~2002 和 2002~2003 的小麦季,3 个体系的水稻和小麦对 N 的吸收没有差异,但是在 2000 年和 2002 年的水稻季,覆麦秸体系对氮的吸收显著低于传统淹水体系或覆地膜体系;在 2000~2001 小麦季,覆麦秸体系小麦的氮吸收要显著高于传统淹水体系。在系统水平上,每个轮作周期内 3 个体系的氮素吸收没有差异。其他氮水平下作物的氮吸收规律与 N₂ 水平下基本一致。

2.3 不同覆盖方式和施氮水平对土壤无机氮残留的影响

图 1 与图 2 分别显示了 2001 年 9 月水稻收获后和 2002 年 5 月小麦收获后不同覆盖方式和施氮水平对 0~60cm 土层无机氮残留的影响。可以看出,3 个体系在小麦季的无机氮残留量(82~88kg/hm²)均高于水稻季的残留量(55kg/hm²)(图 1)。

表 3 N₂ 水平下不同覆盖方式对水稻小麦氮素吸收的影响(kg/hm²)

| Table 3 Effect of mulching on N uptake by rice and wheat under N ₂ level | | | | | | | | | |
|---|---------|------|------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| 覆盖方式 Mulching | 水稻 Rice | | | 小麦 Wheat | | | 系统 System(RfW) | | |
| | 2000 | 2001 | 2002 | 2000~2001 | 2001~2002 | 2002~2003 | 2000~2001 | 2001~2002 | 2002~2003 |
| 传统淹水 TF | 136a | 98a | 129a | 125b | 106a | 92a | 261a | 204a | 221a |
| 覆地膜 PM | 103ab | 113a | 148a | 134ab | 96a | 85a | 237a | 208a | 233a |
| 覆麦秸 SM | 101b | 97a | 79b | 151a | 110a | 120a | 252a | 207a | 199a |

同一列中带有相同字母表示在 0.05 水平差异不显著 Values with the same letter in a column are not significantly different at 0.05 level

这主要是由于水稻季氮的损失要比小麦季大^[14,15]。但是大量的研究表明,水稻-小麦轮作体系中,小麦季累积的无机氮并不能被下季水稻有效利用,在水稻季稻田淹水的时候,小麦季累积的硝态氮将很快被淋洗或反硝化掉^[16]。从图1也可看出,不论在小麦季还是水稻季,覆盖旱作体系与传统淹水体系相比,无机氮的残留没有差异,这实际上意味着,3个体系损失的氮量相当,覆盖旱作没有减少氮的损失。从图2可看出,施氮对水稻季无机氮的残留影响不大,4个氮水平的无机氮残留量变化范围:52~58 kg/hm²,而小麦季无机氮的残留则随施氮水平的增加而增加,N₂和N₃水平的无机氮残留量要显著高于N₀和N₁水平。这进一步说明水稻季很难积累氮。在传统淹水种稻条件下,氮损失的途径主要是氮挥发^[17,18],在覆盖旱作条件下,氮损失的机制可能不同于传统淹水,在本实验里尽管不能排除氮肥一次性用做基肥是引起旱作体系有较大损失的可能原因,但主要原因似乎是覆盖旱作差不多相当于雨养稻作体系,频繁的干湿交替增加了氮的硝化-反硝化和淋洗损失^[19,20]。

2.4 覆盖方式和施氮水平对氮素平衡的影响

表4列出了3个轮作周期后,不同覆盖方式和施氮水平对氮平衡的影响。总的来看,在不施氮(N₀)和低施氮量(N₁)条件下,净平衡表现为亏缺,而且在N₀水平下,亏缺比较严重;在N₂和N₃水平下,净平衡表现为盈余,而且在N₃水平下,由于投入更多的氮肥,所以盈余也比N₂水平高。但就3个体系而言,由于覆麦秸条件下,麦秸带入大约79kg/hm²的氮,所以覆麦秸体系的氮亏缺程度要比覆地膜和传统淹水体系有所减轻,但盈余要多一些。

从表4也可以看出氮的输入量是决定氮素盈亏的主要因素,一方面,连续不施用氮肥会造成土壤氮素亏缺,最终导致土壤肥力下降;另一方面过量施氮会造成大的盈余。由于水稻季很难累积氮,而小麦季累积在土壤剖面的氮也很难被下季水稻有效利用;因此稻麦体系盈余的氮基本损失出了土壤-作物系统,从而导致相应的环境问题。而且在平衡计算中由于没有考虑通过其他途径(灌溉、降雨、种子、生物固氮等)输入农田的氮,所以实际上低估了氮平衡的结果。

3 结语

与传统淹水相比,水稻覆膜旱作对水稻-小麦轮作体系系统生产力没有影响,但是水稻覆麦秸旱作条件下,水稻-小麦轮作体系的系统生产力有降低的趋势,主要原因在于水稻覆麦秸旱作条件下,水稻减产约13%,而麦秸覆盖在小麦季的后效作用不足以弥补水稻产量的下降程度。因此就体系生产力而言,水稻覆膜旱作是缓解灌溉水资源短缺并维持高产的可行措施;覆麦秸旱作条件下,水稻产量的降低问题还有待进一步研究并加以提高。然而从秸秆覆盖对小麦的后效作用以及秸秆的再循环和土壤养分平衡的观点来看,水稻覆麦秸旱作也是节约灌溉水和有效利用秸秆资源的可行措施。

在供试土壤肥力水平下,在施氮量为水稻季150 kg/hm²,小麦季120 kg/hm²的水平(N₂),3个体系的作物产量将达较高水平。不施或低量施氮,会造成作物产量的显著下降和土壤氮素亏缺;高量施氮情况下,作物产量虽仍维持较高水平,但未见产量的进一步增加,却使氮素盈余急剧增加。盈余的氮素基本上损失出土壤-作物系统,从而增加环境风险。

本试验结果表明,需要通过进一步研究以建立覆盖旱作条件下的养分资源综合管理体系,确定长期覆盖旱作对土壤肥力的影响及评价覆盖旱作的环境效应。

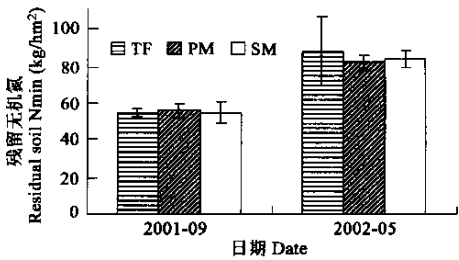


图1 覆盖方式对作物收获后0~60 cm 土层无机N 残留的影响
Fig.1 Effect of mulching on residual Nmin in 0~60cm soil

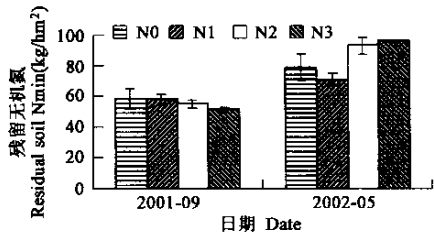


图2 施N 水平对作物收获后0~60 cm 土层无机N 残留的影响
Fig.2 Effect of N rate on residual Nmin in 0~60 cm soil

表4 旱作覆盖方式和施氮水平对氮素平衡(kg/hm²)的影响(2000~2003年)

Table 4 Effects of non-flooded mulching and N rate on apparent N balance (kg/hm²) in rice-wheat cropping systems(2000~2003)

| 覆盖方式 Mulching | 施氮水平 N rate | 投入 Input 氮肥 Fertilizer | 麦秸 Straw | 产出 Output Removal by crops | 平衡 Balance |
|------------------|----------------|------------------------------|-------------|----------------------------------|---------------|
| 传统淹水 TF | N0 | 0 | 0 | 368 | -368 |
| | N1 | 405 | 0 | 540 | -135 |
| | N2 | 810 | 0 | 687 | 123 |
| | N3 | 1215 | 0 | 757 | 458 |
| 覆地膜 PM | N0 | 0 | 0 | 388 | -388 |
| | N1 | 405 | 0 | 521 | -116 |
| | N2 | 810 | 0 | 679 | 131 |
| | N3 | 1215 | 0 | 732 | 483 |
| 覆麦秸 SM | N0 | 0 | 79 | 364 | -286 |
| | N1 | 405 | 79 | 490 | -7 |
| | N2 | 810 | 79 | 659 | 229 |
| | N3 | 1215 | 79 | 702 | 592 |

References:

- [1] Wang J C, Liu X J, Zhang F S, *et al.* The effect of different soil mulch materials on the growth and yield of rice. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(6): 922~929.
- [2] Liao M, Xie X, Wu L. Effects of dry-cultivated and plastic film-mulched planting on microorganism ecological quality in a paddy field soil. *Chinese J. Rice Sci.*, 2002, **16**(3): 243~246.
- [3] Liang Y C, Hu F, Yang M C, *et al.* Mechanism of high yield and irrigation water use efficiency of rice in plastic foil mulched dry land. *Scientia Agricultura Sinica*, 1999, **31**(1): 26~32.
- [4] Shi Y, Shen Q, Mao Z, *et al.* Time and horizontal spatial variations of NH_4^+ -N and NO_3^- -N of rhizospheric soil with rice cultivation on upland condition mulched with half-decomposed rice straw. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, **35**(5): 520~524.
- [5] Shen K, Wang X, Luo X. Test and demonstration on wet-cultivation with film mulching of rice. *Hubei Agri. Sci.*, 1997, **5**: 18~22.
- [6] Fan X L, Zhang J P and Wu P. Water and nitrogen use efficiency of lowland rice in ground covering rice production system in south china. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, **25**(9), 1855~1862.
- [7] Ai Y W, Liu X J, Zhang F S, *et al.* Utilization rate of nitrogen fertilizer of rice as influenced by mulch and dryland. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, **41**(1), 152~155.
- [8] Liang Y C, Hu F, Shen, Q R, *et al.* An overview of rice cultivation on plastic film mulched dryland. In: Feng F, Zhang F S, Yang X Q. eds. *Studies on Plant Nutrition-Progress and Overview*. Beijing: China Agricultural University Press, 2000. 114~127.
- [9] Rasmussen P E, Collins H P. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residues on soil organic matter in temperate semi-arid regions. *Adv. Agron.*, 1991, **45**: 93~134.
- [10] Zhu Z L. Soil nitrogen fertility and agricultural nitrogen management in China. In: Shen shanmin ed. *Soil fertility in China*. Beijing: Science Press, 1999. 160~211.
- [11] Liu X J, Wang J C, Lu S H, *et al.* Effects of non-flooded mulching cultivation on crop yield, nutrient uptake and nutrient balance in rice-wheat cropping systems. *Field Crops Research*, 2003, **83**: 297~311.
- [12] Hu F, Liang Y C, Li H X. Soil fertility of mulching dryland field and soil management. In: Soil Science Society of China ed. *Soil Sci. toward 21th century* (integrated volumn), 1999. 265.
- [13] Wang Y, Song J M, Zhang J Z. Test on rice with dry-cultivated and plastic film-mulched. *Shanxi Agri. Sci.*, 1985, **3**: 14~15.
- [14] Keeney D R and Sahrawat K L. Nitrogen transformations in flooded rice soils. *Fert. Res.*, 1986, **9**: 15~38.
- [15] Timsina J, Singh U, Badaruddih M, *et al.* Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice-wheat sequences of Bangladesh. *Field Crop Research*, 2001, **72**: 143~161.
- [16] George T, Ladha J K, Buresh R J, *et al.* Managing native and legume-fixed nitrogen in lowland rice-based cropping systems. *Plant and Soil*, 1992, **141**: 69~91.
- [17] Fillery I R P, De Datta S K. Ammonia volatilization from nitrogen sources applied to rice field I. Methodology, ammonia fluxes, and nitrogen-15 loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, **50**: 80~86.
- [18] Zhu Z L. Fate and management of fertilizer nitrogen in agro-ecosystems. In: Zhu Z, Wen Q, and Freney J R eds. *Nitrogen in soils of China*. Dordrecht Kluwer Academic Publishers, 1997. 239~279.
- [19] Buresh R J and De Datta S K. Denitrification losses from puddle rice soils in the tropics. *Biol Fertil Soils*, 1990, **9**: 1~13.
- [20] Yan Xiaoyuan, Shi shulian, Du Lijuan, *et al.* N_2O emission from paddy soil as affected by water regime. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, **37**(4): 482~489.

参考文献:

- [1] 王甲辰, 刘学军, 张福锁, 等. 不同土壤覆盖物对旱作水稻生长和产量影响. 生态学报, 2002, **22**(6): 922~929.
- [2] 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. 中国水稻科学, 2002, **16**(3): 243~246.
- [3] 梁永超, 胡锋, 杨茂成, 等. 水稻覆膜旱作高产节水机理研究. 中国农业科学, 1999, **31**(1): 26~32.
- [4] 石英, 沈其荣, 郭泽圣, 等. 旱作水稻根际土壤铵态氮和硝态氮的时空变异. 中国农业科学, 2002, **35**(5): 520~524.
- [5] 沈康荣, 汪小春, 罗显树. 水稻地膜覆盖湿润栽培试验示范研究. 湖北农业科学, 1997, **5**: 18~22.
- [7] 艾应伟, 刘学军, 张福锁, 等. 旱作与覆盖方式对水稻吸收利用N的影响. 土壤学报, 2004, **41**(1), 152~155.
- [8] 梁永超, 胡锋, 沈其荣, 等. 水稻覆膜旱作研究现状与展望. 冯锋, 张福锁, 杨新泉编. 植物营养研究——进展与展望. 北京, 中国农业大学出版社, 2000. 114~127.
- [10] 朱兆良, 中国土壤的氮素肥力 与农业中的氮素管理. 中国土壤肥力, 沈善敏编, 北京, 科学出版社, 1999. 160~211.
- [12] 胡锋, 梁永超, 李辉信. 覆膜旱作稻田土壤肥力与土壤管理问题. 迈向21世纪的土壤科学(综合卷), 中国土壤学会编, 1999, 265.
- [13] 王寅初, 宋巨明, 张计柱. 地膜旱作水稻初步试验. 山西农业科学, 1985, **3**: 14~15.
- [20] 颜晓元, 施书莲, 杜丽娟, 等. 水分状况对水田土壤 N_2O 排放的影响. 土壤学报, 2000, **37**(4): 482~489.