

# 水稻覆膜旱作对根叶性状、土壤养分和土壤微生物活性的影响

蔡昆争<sup>1</sup>, 骆世明<sup>1</sup>, 方 祥<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642; 2. 华南农业大学食品学院, 广州 510642)

**摘要:**研究了水稻覆膜旱作、裸地旱作、常规水作处理对根系形态、叶片水势、土壤养分、土壤微生物数量和土壤酶活性的影响。结果表明,覆膜旱作能改善水稻田间的生态环境,提高旱季土壤温度 1~3℃。与裸地旱作相比,覆膜旱作能增加抽穗期水稻根系的总根长、比根长,而这些指标与常规水作差别不大。在水稻抽穗期,无论是剑叶还是倒 2 叶的水势,均有如下趋势:水作 > 覆膜旱作 > 裸地旱作,但均未达到显著水平。不同处理对叶片叶绿素含量的影响在分蘖期差异不大,中后期覆膜旱作明显高于裸地旱作和常规水作,抽穗期分别增加 29.44% 和 15.15%,成熟期则为 74.4%、38.9%。覆膜旱作能显著增加水稻的有效穗数,旱季和晚季产量比裸地旱作增产 10.6% 和 12.5%,而与常规水作差别不大。与裸地旱作和常规水作相比,覆膜旱作土壤养分含量在分蘖期除了全磷、速效氮显著增加外,其他指标差异不大。而抽穗期则由于覆膜后作物对养分的消耗加大从而使土壤养分含量下降,特别是总磷、速效磷、速效钾与常规水作相比显著下降,分别降低 25.9%, 31.9%, 16.2%。而成熟期则大多指标与常规水作相比有所下降,但未达到显著水平。与常规水作栽培相比,覆膜旱作能增加土壤微生物细菌、真菌、放线菌 2~5 倍,显著增加土壤过氧化氢酶和蔗糖酶的活性,而土壤脲酶活性则差异不大。土壤过氧化氢酶活性在分蘖期、抽穗期、成熟期分别增加 13.8%, 81.3%, 17.4%, 蔗糖酶活性则分别增加 42.8%, 28.8% 和 69.9%。

**关键词:**水稻; 覆膜旱作; 根系; 土壤养分; 土壤微生物活性

文章编号:1000-0933(2006)06-1903-09 中图分类号:S314,S511.2,S154 文献标识码:A

## Effects of film mulching of upland rice on root and leaf traits, soil nutrient content and soil microbial activity

CAI Kun-Zheng<sup>1</sup>, LUO Shi-Ming<sup>1</sup>, FANG Xiang<sup>2</sup> (1. Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1903 ~ 1911.

**Abstract:** Rice is a heavy consumer of fresh water and approximately 60% of the fresh water is used for rice production. Traditional lowland rice with continuous flooding requires relatively high water inputs and its sustainability is threatened by the increase of water shortage. In recent years, water-saving rice production techniques have been developed in China and in other water-limited environments, including alternating wetting and drying (AWD), aerobic rice, and ground-cover rice production systems (GCRPS), also called "plastic film mulched dryland rice". GCRPS is a promising new production technology to grow rice using less water, it has been reported to save up to 60% of the water usually needed growing paddy rice without causing any significant reduction in grain yields.

Field experiments with three treatments, upland rice cultivation without mulching (UC), upland cultivation with film mulching (FM), traditional paddy rice cultivation (CK) in two seasons were carried out to study the effects of rice mulching

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30100107);国家教育部博士点基金资助项目(2000065402);广东省自然科学基金资助项目(20000636)

**收稿日期:**2005-01-25; **修订日期:**2005-11-06

**作者简介:**蔡昆争(1970~),男,云南曲靖人,博士,副教授,主要从事农业生态、作物逆境生理生态研究. E-mail: kzcai@scau.edu.cn

**Foundation item:** The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30100107), Doctoral Fund of the Ministry of Education of China (No. 2000065402) and Guangdong Natural Science Foundation (No. 20000636)

**Received date:** 2005-01-25; **Accepted date:** 2005-11-06

**Biography:** CAI Kun-Zheng, Ph.D, Associate professor, mainly engaged in agroecology and crop stress eco-physiology. E-mail: kzcai@scau.edu.cn

cultivation on root and leaf traits, soil nutrient content and microbial activities. All plots were enclosed by isolating dams of 50 cm width and 15 cm height to assure independent hydrological conditions. Except traditional paddy rice production (CK), the rice field were irrigated only at the time when the rice was sensitive to water stress i. e. one week after transplanting, panicle illumination and heading. Dynamic changes of soil chemical properties and soil enzyme activities were monitored at tillering, heading and ripening stage by collecting soil samples from rhizosphere.

The results indicated that film mulching (FM) could increase soil temperature by 1-3°C than UC and CK treatments, total root length and specific root length at heading stage were also increased compared to UC treatment. Water potential of flag leaf and the second lower leaf of the rice plant was in the decreasing order: CK > FM > UC. There was no significant difference in chlorophyll content of leaf at tillering stage among the three treatments. However, film mulching treatment (FM) significantly increased chlorophyll contents of leaf by 29.4% and 15.2% at heading stage and 74.4% and 38.9% at ripening stage compared to UC and CK treatment respectively. In comparison with UC treatment, FM treatment led to an increase in grain yield by 10.6% and 12.5% respectively at early and late season, there was no significant yield difference between FM treatment and CK treatment. Film mulching did not cause changes in soil nutrient content except that total P, available N occasionally increased at tillering stage. However, soil fertility index especially total P, available P and available K were decreased by 25.9%, 31.9%, 16.2% respectively than CK treatment at heading stage, there was no obvious difference of soil fertility among UC, FM and CK treatments except for effective N content at ripening. Compared to CK treatment, FM treatment could increase the amount of soil bacteria, fungi and actinomycetes by 2 to 5 folds, increase soil enzyme activity at tillering, heading and ripening stage, especially sucrase activity by 42.8%, 28.8% and 69.9%, catalase activity by 13.8%, 81.3%, 17.4% respectively.

The above results suggest that film mulching could improve the water utilization efficiency in rice production. It could also enhance the release of soil nutrient and increase decomposition of soil organic matter through increasing the amount of soil microbes and soil enzyme activity, which increased the availability of nutrient elements for rice plants. However, soil nutrient deficiency in the late stage of rice growth may be a problem for upland rice cultivation under film mulching treatment(FM).

**Key words:** rice; film mulching; root system; soil nutrient; soil microbial activity

我国是一个人均淡水资源严重短缺的国家,水资源总量为 28120 亿  $m^3$ ,而人均只有 2310 $m^3$ ,是世界 13 个贫水国之一,水资源短缺已成为我国经济发展面临的最严重问题之一<sup>[1]</sup>。我国又是一个农业大国,农业用水占总用水量的 80%,农业生产不断受干旱缺水的困扰,我国水稻栽培面积为  $3.27 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,占农业用水 65%,是用水的第一大户<sup>[2]</sup>。传统的水稻栽培是淹水栽培,其耗水量惊人,达 6000~9000 $m^3/\text{hm}^2$ ,水资源浪费严重。因此稻田是农业节水的重点,研究节水型稻作,显得非常必要。

水稻覆膜旱作是生产实践和理论证明的一项新型节水栽培技术。前人研究表明它能增加土壤温度和湿度,抑制裸间蒸发,降低水分渗漏,提高水分和肥料的利用率,具有明显的保墒作用,大大减轻了旱作水稻的水分胁迫程度<sup>[3-5]</sup>,同时覆膜旱作对施肥造成的稻田地下水水质非点源污染也能起到良好的控制效果<sup>[4]</sup>。但是目前大多数研究仍集中在栽培技术及覆膜后的节水和对地上部的生长发育与产量的效应研究上<sup>[6-12]</sup>,部分涉及到覆膜栽培对土壤养分转化和肥力变化的影响<sup>[13-17]</sup>,但结果不完全一致。土壤微生物对于土壤养分的吸收和转化起着非常重要的推动作用,目前仅有少量报道集中在旱地作物覆膜后的土壤微生物变化情况<sup>[18-20]</sup>。而水稻覆膜旱作后的土壤微生物类群数量及土壤酶活性的变化如何,国内外很少报道,仅有廖敏等<sup>[21]</sup>试验表明覆膜旱作有利于提高土壤微生物生态质量。本文在研究覆膜旱作条件下水稻根叶生理特性、土壤养分转化的基础上,重点揭示覆膜对土壤微生物类群组成和土壤酶活性的变化规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验在华南农业大学试验农场进行。供试水稻品种为广东省生产上大面积推广的品种粤香占。设 3 个处理,分别是裸地旱作(UC)、覆膜旱作(FM)和常规水作(CK),3 个重复,随机排列,种植密度株行距为 20 cm ×

33.3 cm, 小区面积为 32 m<sup>2</sup>。早稻播种时间为 3 月 10 日, 插秧时间为 4 月 8 日, 晚稻播种时间为 7 月 25 日, 插秧时间为 8 月 12 日, 每穴插两苗。试验地为水稻土, 土壤有机质含量为 16.30 g/kg, 速效氮含量为 112.32 mg/kg, 速效磷含量为 48.32 mg/kg, 速效钾含量为 123.65 mg/kg。旱作和覆膜旱作是在保证水稻关键生育时期(返青期、孕穗抽穗期等)需水的前提下将田间水分排干, 保持旱作状态。在移栽后一个星期左右(返青期)保持 1cm 浅水层, 然后将水排干, 依靠天然降雨; 在孕穗期由于土壤严重干旱, 为了不明显影响作物生长, 补充灌溉 50 mm 一次。水稻在全生育期间(8~11 月份)的降雨量为 775.1 mm。各小区起畦独立排灌和施肥, 施肥量为 1hm<sup>2</sup> 纯 N 180 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg, K<sub>2</sub>O 150 kg, 75% 的 N 及全部 P、K 肥作基肥施入, 分蘖期和孕穗期追施 25% 氮肥, 田间管理同一般大田。

## 1.2 测定项目及方法

**1.2.1 土壤温度** 将曲管温度计埋入不同层次的土壤, 测定各种处理在 0~5、5~10、10~15、15~20cm 土壤层次的温度变化, 取 8:00、12:00、18:00 的 3 次平均值。

**1.2.2 根系形态指标** 在水稻的分蘖期、抽穗期每小区随机取样 3 穴, 测定根系形态性状, 包括根长、根数、根表面积、根体积、根直径, 所用仪器为加拿大 Regent 公司生产的 Win/Mac STD 1600 根系扫描仪。

**1.2.3 叶片水势** 在抽穗后 7、14、21、28、35d, 将各处理的植株剑叶和倒 2 叶取回实验室进行叶片水势测定, 所用仪器为美国产 WP4 水势仪。

**1.2.4 产量及构成因素** 成熟期每个处理小区随机取样 3 穴, 3 个重复进行产量及穗粒结构的考种, 得到理论产量, 并对每个成熟小区进行实测得到实际产量。

**1.2.5 土壤养分** 在水稻的分蘖期、抽穗期、成熟期每小区取耕作层 0~20cm 根区土样测定土壤养分含量, 每小区取两个点作为一个混合样, 每个处理共 3 个重复小区。所测指标包括土壤 pH 值、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、阳离子交换量等, 测试方法见参考文献<sup>[22]</sup>。

**1.2.6 土壤微生物数量及土壤酶活性** 在不同生育时期取根区土壤样品测定土壤微生物数量及土壤酶活性测定, 每个处理 3 个重复样品。土壤细菌、放线菌、真菌分别用牛肉汁蛋白胨、淀粉铵盐、马丁氏培养基稀释平板法测定<sup>[23,24]</sup>。

土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性参考有关文献进行测定<sup>[23,24]</sup>, 其中土壤过氧化氢酶活性测定用高锰酸钾滴定法, 酶活以 1g 土壤、1h 消耗 0.1N 高锰酸钾 ml 数表示; 土壤蔗糖酶活性测定用 3,5-二硝基水杨酸比色法, 酶活以 1g 土壤在 37℃ 下, 24h 分解蔗糖产生的葡萄糖 mg 数表示; 土壤脲酶活性测定用奈氏比色法, 酶活以 1g 土壤在 37℃ 下培养 24h 分解尿素产生的 NH<sub>3</sub>-N 的 mg 数表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 覆膜旱作对早季土壤温度的影响

从表 1 可看出, 地膜覆盖能增加早季土壤表层温度 2~3℃, 特别是 0~5cm 土层增温效应特别显著。随着土层的加深, 增温效果下降。覆膜后在 0~5cm、5~10cm、10~15cm、15~20cm 土层温度分别比旱地或淹水增加 2~3℃、1~2℃、0~1℃、0~1℃。而旱作与淹水之间几乎没有明显的差别。同一时间不同处理土壤温度的大小主要取决于作物的郁闭度, 郁闭度越小, 增温效果越大。王树森等<sup>[25]</sup> 研究认为, 地膜的增温机制主要为: (1) 地膜隔绝了土壤与外界的水分交换, 抑制了潜热交换; (2) 地膜减弱了土壤与外界的显热交换; (3) 地膜及其表面附着的水层对长波反辐射有削弱作用, 使夜间温度下降减缓。

### 2.2 覆膜旱作对水稻根系性状的影响

从表 2 可看出, 几种不同处理对抽穗期水稻根系表面积、根直径、根体积的影响较小, 而对根长、比根长、根数的影响有明显差异。覆膜旱作(FM)和常规水作(CK)处理的水稻根总长分别比裸地旱作处理(UC)增加 11.5%, 26.0%, 比根长分别增加 11.8%, 27.6%。与常规水作相比, 覆膜旱作和裸地旱作水稻根系的数量显著下降, 分别减少 19.6% 和 19.0%, 而根直径则有增粗的趋势, 分别增加 6.7% 和 13.3%, 根体积则差异不大。覆膜旱作与常规水作根系生长发育状况比裸地旱作好, 表现为根系多, 根系长度和比表面积增加, 有利于吸收

水分和营养物质。

成熟期则各处理的总根长、根体积、根直径和比根长存在明显差异。覆膜旱作、裸地旱作根系总长分别比水作减少 14.3% 和 6.9%，达显著水平；而根直径则分别增加 33.3% 和 26.7%；比根长分别减少 15.4% 和 7.9%。其它指标也有所差异，但未达到显著水平。

表 1 覆膜旱作对旱季不同土层平均温度的影响(°C)

Table 1 Effects of film mulching on soil temperature in early rice season

日期 Date	土层 Soil depth(cm)	裸地旱作 UC	覆膜旱作 FM	常规水作 CK	比旱作增加 Increase than T1	比水作增加 Increase than CK
4 月 22 日 April 22	0~5	29.0	31.7	30.0	2.7*	1.7
	5~10	27.5	28.0	27.0	0.5	1.0
	10~15	25.0	26.5	25.5	1.5	1.0
	15~20	25.5	26.0	25.5	0.5	0.5
4 月 24 日 April 24	0~5	31.6	34.6	32.2	3.0*	2.4*
	5~10	29.5	31.2	28.5	1.7	2.7*
	10~15	27.1	28.7	27.5	1.6	1.2
	15~20	27.3	27.5	27.0	0.2	0.5
4 月 26 日 April 26	0~5	26.0	28.3	26.0	2.3*	2.3*
	5~10	25.5	27.0	25.5	2.5*	2.5*
	10~15	24.5	26.5	25.0	2.0*	1.5
	15~20	25.0	26.5	25.5	1.5	1.0
4 月 28 日 April 28	0~5	28.5	31.0	28.0	2.5*	3.0*
	5~10	27.0	28.5	26.5	1.5	2.0
	10~15	25.5	27.0	25.5	1.5	1.5
	15~20	25.5	26.5	25.5	1.0	1.0

UC: 裸地旱作 upland rice, FM: 覆膜旱作 mulching on upland rice, CK: 常规水作 paddy rice cultivation, 下同, the same below \*  $p < 0.05$

表 2 覆膜旱作对根系特性的影响(每穴)

Table 2 Effects of film mulching on morphology of root system (per hill)

处理 Treatment	总长 Total length (cm)	表面积 Surface area (cm <sup>2</sup> )	直径 Diameter (cm)	体积 Volume (cm <sup>3</sup> )	比根长 Specific root length (cm/m <sup>3</sup> )	根数 Tips
抽穗期 Heading stage						
UC	1497.5 ± 44.0c	770.9 ± 151.5a	0.17 ± 0.04a	33.4 ± 4.9a	1473.7 ± 57.7b	1098 ± 21b
FM	1668.9 ± 45.6b	860.0 ± 112.1a	0.16 ± 0.02a	36.2 ± 9.2a	1646.5 ± 42.6a	1090 ± 67b
CK	1886.3 ± 70.5a	889.7 ± 76.7a	0.15 ± 0.01a	33.6 ± 4.8a	1880.3 ± 73.2a	1356 ± 31a
成熟期 Ripening stage						
UC	1495.5 ± 94.1ab	851.3 ± 115.8a	0.19 ± 0.02a	40.4 ± 12.0a	1460.8 ± 95.2ab	885 ± 119a
FM	1376.0 ± 18.6b	833.9 ± 52.3a	0.20 ± 0.01a	41.3 ± 4.4a	1341.7 ± 36.2b	782 ± 48a
CK	1605.5 ± 40.1a	853.81 ± 41.8a	0.15 ± 0.01b	29.5 ± 2.8b	1586.7 ± 48.7a	859 ± 29a

同一时期同一列数据中字母不同者表示差异性显著 ( $p < 0.05$ ) Data with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ) in the same column at the same growth stage

### 2.3 对水稻叶片水势的影响

叶片水势是干旱逆境的敏感指标,可以在一定程度上反应作物体内的水分状况。从表 3 可看出,在水稻抽穗期,不同时间剑叶和倒 2 叶叶片水势的总体趋势均为:常规水作(CK) > 覆膜旱作(FM) > 裸地旱作(UC),但大多未达到显著水平。相比较而言,无论是剑叶还是倒 2 叶,覆膜旱作与常规水作叶片水势差异较小,而裸地旱作则明显低于常规水作。抽穗后 7d, 14d, 21d, 28d, 35d 剑叶中,常规水作叶片水势比裸地旱作分别高 8.6%, 24.3%, 10.2%, 9.4%, 6.2%, 而倒 2 叶则分别增加 8.9%, 20.6%, 14.5%, 5.5%, -2.9%。覆膜旱作与常规水作相比叶片水势下降幅度较小,说明覆膜处理有增强保水能力的趋势。

表3 覆膜旱作对抽穗后水稻功能叶水势的影响(MPa)

Table 3 Effects of film mulching on leaf water potential after heading (MPa)

穗后天数(d) Days after heading	叶片 Leaf	处理 Treatment		
		UC	FM	CK
7	剑叶 Flag leaf	-2.1 ± 0.06a	-1.97 ± 0.17a	-1.92 ± 0.10a
	倒2叶 The second lower leaf	-1.91 ± 0.51a	-1.84 ± 0.14a	-1.74 ± 0.15a
14	剑叶 Flag leaf	-1.48 ± 0.20a	-1.38 ± 0.21a	-1.12 ± 0.11b
	倒2叶 The second lower leaf	-1.26 ± 0.21a	-1.16 ± 0.19a	-1.00 ± 0.16a
21	剑叶 Flag leaf	-1.97 ± 0.27a	-1.82 ± 0.30a	-1.77 ± 0.26a
	倒2叶 The second lower leaf	-1.86 ± 0.11a	-1.75 ± 0.11ab	-1.59 ± 0.20b
28	剑叶 Flag leaf	-1.92 ± 0.27a	-1.82 ± 0.18a	-1.74 ± 0.14a
	倒2叶 The second lower leaf	-1.63 ± 0.47a	-1.56 ± 0.20a	-1.54 ± 0.21a
35	剑叶 Flag leaf	-2.10 ± 0.41a	-2.06 ± 0.23a	-1.97 ± 0.57a
	倒2叶 The second lower leaf	-1.75 ± 0.37a	-1.74 ± 0.37a	-1.80 ± 0.31a

同一行数据中字母不同者表示差异性显著 ( $p < 0.05$ ) Data with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ) in the same line

2.4 对水稻叶片叶绿素含量的影响

叶绿素是光合作用的物质基础,开花后叶片内叶绿素含量的高低在一定程度上影响着叶片光合速率的高低<sup>[26]</sup>。从图1可知,在分蘖期3个处理在叶绿素含量的测定上表现一致,差别不显著。而在抽穗期,覆膜旱作与常规水作相比差异不大,但分别比裸地旱作增加29.4%和14.3%。到了成熟期,覆膜旱作的叶绿素含量明显高于裸地旱作和常规水作,叶绿素a分别比裸地旱作和常规水作高出73.5%、40.4%,叶绿素b高出77.7%、33.3%,总叶绿素含量高出74.4%、38.9%。这说明水稻覆膜可以起到延缓叶片衰老,延长功能叶的光合作用。出现这种现象的原因是由于覆膜可以起到保肥保水的作用,而充足的水肥正是延缓叶片衰老的一个重要原因。从图中可看到,裸地旱作叶绿素含量最低,这跟后期田间缺水缺肥有很到关系。

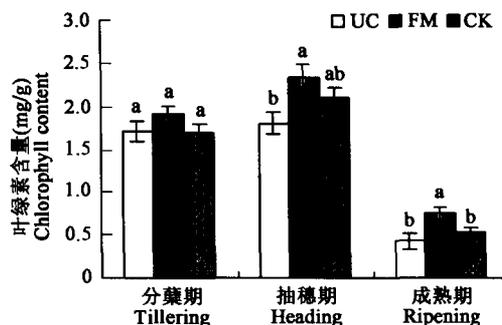


图1 覆膜旱作对植株叶片叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of mulching on chlorophyll content of functional leaves

2.5 对水稻产量及产量构成的影响

无论是早季还是晚季,覆膜旱作产量明显高于裸地旱作,而与常规水作差异不大(表4)。覆膜旱作增产主要通过有效穗、结实率的增加来达到。早季覆膜旱作平均穗数为  $291.7 \times 10^4 \text{ ind./hm}^2$ ,比裸地旱作增加了  $15.3 \times 10^4 \text{ ind./hm}^2$ ,总粒数21.2%,结实率6.7%,理论产量增加25.9%,实际产量增加10.6%。而晚季覆膜旱作则主要通过单位面积有效穗数来增加产量,实际产量比裸地旱作增加12.47%。裸地旱作由于在整个生育过程受到水分的严重胁迫,限制了产量的提高。而覆膜旱作则能在明显节水的前提下达到与常规水作相近的产量。

表4 水稻覆膜旱作对产量及其产量构成的影响

Table 4 Effects of film mulching on yield and yield components

处理 Treatment	有效穗数 Effective Panicle number ( $10^4 \text{ ind./hm}^2$ )	每穗粒数 Grains per panicle	结实率 Filled grains (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	理论产量 Theoretical yield (kg/ $\text{hm}^2$ )	实际产量 Actual Yield (kg/ $\text{hm}^2$ )	增产率 Increasing rate (%)
早季 Early rice							
UC	276.4 ± 33.9	115.0 ± 18.2	84.30 ± 0.04	18.99 ± 1.00	5168.5 ± 1686.8	5867.2	0
FM	291.7 ± 69.6	129.9 ± 15.0	89.10 ± 0.03	19.36 ± 0.86	6506.2 ± 973.6	6488.5*	10.6
CK	287.5 ± 60.6	118.2 ± 19.2	87.80 ± 0.06	19.15 ± 1.21	5741.6 ± 1835.9	6143.3	4.7
晚季 Late rice							
UC	219.2 ± 47.9	167.9 ± 31.2	91.80 ± 6.20	19.58 ± 0.68	6238.5 + 849.2	5302.1	0
FM	262.8 ± 12.6	119.0 ± 29.7	92.90 ± 2.60	19.56 ± 0.71	6552.6 ± 910.3	5963.5*	12.47
CK	250.2 ± 43.2	120.4 ± 18.8	92.80 ± 1.40	18.54 ± 0.74	6560.2 ± 1135.7	5921.2*	11.69

\*  $p < 0.05$

## 2.6 对土壤养分含量的影响

覆膜旱作后对土壤养分的影响见表 5,从表中可看出,在分蘖期,与裸地旱作和常规水作相比,覆膜后土壤的养分尽管有一定程度的提高,比如在全氮、全磷、速效氮、阳离子交换量方面,其中全磷、速效氮达到显著水平。而速效磷和速效钾含量则比裸地旱作与常规水作轻微降低,但以上这些变化趋势大多没有达到显著水平,因此总体上来说分蘖期各处理的土壤养分差异不大。而抽穗期则由于覆膜后作物对养分的消耗加大从而使土壤养分含量下降,特别是总磷、速效磷、速效钾下降幅度较大,与常规水作相比,分别降低 25.9%,31.9%,16.2%,达到显著水平。而成熟期则大多指标与常规水作相比有所下降,但未达到显著水平。总的来说,覆膜后土壤温度上升,加速了微生物的代谢活性,促进了作物的养分的吸收,从而使土壤的肥力在中后期有下降的趋势。

表 5 覆膜旱作对土壤养分变化的影响

Table 5 Effects of film mulching on soil nutrient at different growth stages

处理 Treatment	pH	OM (g/kg)	TN (g/kg)	TP (g/kg)	TK (g/kg)	AN (mg/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	CEC (mol/kg)
分蘖期 Tillering stage									
UC	5.72a	23.50a	1.27a	1.13b	18.60a	74.24a	44.86a	134.13a	6.91a
FM	5.71a	25.23a	1.31a	1.36a	18.59a	80.26a	43.72a	109.27b	7.12a
CK	5.65a	24.17a	1.23a	1.31a	18.31a	64.60b	47.25a	119.97a	7.09a
抽穗期 Heading stage									
UC	5.62a	23.57a	1.23a	1.29a	17.84a	75.44a	42.21ab	55.99ab	6.76a
FM	5.55a	24.04a	1.12a	1.00b	18.18a	67.49a	36.03b	50.61b	7.19a
CK	5.74a	24.35a	1.21a	1.35a	17.86a	73.76a	52.92a	60.38a	7.00a
成熟期 Ripening stage									
UC	5.44a	24.00a	1.32a	1.33a	18.51a	99.78b	47.51a	110.71a	7.14a
FM	5.54a	23.53a	1.24a	1.21a	18.15a	126.80a	50.78a	107.28a	6.75a
CK	5.60a	23.79a	1.26a	1.20a	18.20a	115.20a	54.43a	116.09a	7.02a

①TN:总氮 Total nitrogen;TP:总磷 Total phosphorous;TK:总钾 Total potassium;AN:有效氮 Available nitrogen;AP:有效磷 Available phosphorous;AK:有效钾 Available potassium;CEC:阳离子交换量 Cation exchange capacity;②同一时期同一列数据中字母不同者表示差异性显著 ( $p < 0.05$ ) Data with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ) in the same column at the same growth stage

## 2.7 对土壤微生物数量及活性的影响

细菌、放线菌和真菌是土壤中的三大类微生物,它们对土壤中有机的分解、氮和磷等营养元素及其化合物的转化具有重要作用。从表 6 中可看出,覆膜旱作与裸地旱作在分蘖期土壤细菌数量显著高于常规水作处理,分别增加 76.7%和 104.7%,而抽穗期则显著低于常规水作处理,而到成熟期又显著高于常规水作处理,相当于 2.62~2.78 倍。分蘖期在真菌数量方面覆膜旱作与常规水作相比差异很小,而裸地旱作则相当于它们的 2 倍,这种趋势与细菌数量类似,而抽穗期则裸地旱作显著低于常规水作处理,而到成熟期又显著高于水作处理,相当于 4~5 倍左右。放线菌数量在分蘖期裸地旱作相对较低,而在抽穗期与成熟期,覆膜旱作和裸地旱作显著高于常规水作处理,相当于 2~3 倍。

土壤酶来自土壤微生物、植物和动物活体或残体,是土壤生化过程的产物。土壤酶活性是土壤中生物学活性的总体现,它表征了土壤的综合肥力特征及土壤养分转化进程,所以土壤酶活性可以作为衡量土壤肥力水平高低的较好指标。通常可用蔗糖酶、脲

表 6 覆膜旱作对土壤微生物数量的影响

Table 6 Effects of film mulching on number of soil microorganisms

处理 Treatment	细菌 Bacteria ( $\times 10^6$ )	真菌 Fungi ( $\times 10^4$ )	放线菌 Actinomycetes ( $\times 10^4$ )
分蘖期 Tillering stage			
UC	5.22 ± 1.09a	2.55 ± 0.07a	1.50 ± 0.27b
FM	4.51 ± 1.10ab	1.25 ± 0.07b	2.00 ± 0.20a
CK	2.63 ± 0.29b	1.23 ± 0.51b	1.97 ± 0.57a
抽穗期 Heading stage			
UC	2.78 ± 0.65c	2.37 ± 0.45b	3.27 ± 0.40a
FM	4.91 ± 0.47b	2.30 ± 0.61b	3.78 ± 1.72a
CK	6.85 ± 0.26a	3.10 ± 0.26a	1.70 ± 0.28b
成熟期 Ripening stage			
UC	11.80 ± 1.67a	6.81 ± 0.54a	4.44 ± 0.47a
FM	12.5 ± 1.98a	5.18 ± 1.21a	4.70 ± 0.82a
CK	4.50 ± 0.95b	1.27 ± 0.35b	1.63 ± 0.57b

同一时期同一列数据中字母不同者表示差异性显著 ( $p < 0.05$ )

Data with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ) in the same column at the same growth stage

酶、过氧化氢酶、磷酸酶等来评价土壤肥力。土壤酶活性强弱是表征土壤熟化和肥力水平高低的一项重要指标。因此可以利用酶活性来评价土壤营养物质转化、循环情况及施肥、供肥能力。本研究从土壤酶的活性看,不同处理对土壤酶活性的影响程度有所不同(图2)。总的趋势为覆膜旱作处理酶活性与对照(常规水作)相比,均有不同程度的增加,尤以对过氧化氢酶、蔗糖酶的影响最大。

过氧化氢酶活性与土壤有机质的转化速度有密切关系。从图2中可看出,  $H_2O_2$  酶活性分蘖期裸地旱作较高,分别比覆膜旱作与常规水作高 18.9% 和 13.8%, 抽穗期和成熟期则覆膜旱作与裸地旱作差异不大,而显著高于常规水作,分别增加 71.7% 和 33.8%。

蔗糖酶的活性可以反映土壤中碳的转化和呼吸强度,从蔗糖酶活性来看,在分蘖期和抽穗期都呈现如下趋势变化:裸地旱作 > 覆膜旱作 > 常规水作,而在成熟期则裸地旱作与覆膜旱作接近,但均大于常规水作。而与传统水作相比,在整个生育期覆膜旱作和裸地旱作处理均显著高于常规水作处理,分蘖期分别增加 42.8%, 80.6%, 抽穗期增加 28.8%, 57.6%, 成熟期增加 63.9%, 62.7%。

脲酶是土壤中广泛存在的酶。大量研究证实,脲酶活性不仅与表征土壤理化性质和肥力水平的多项因素显著相关,而且与土壤中各类微生物数量的相关等比较密切,可以反映土壤微生物的活性状况<sup>[24]</sup>。从脲酶活性来看,除抽穗期裸地旱作处理脲酶活性显著降低外,比覆膜旱作和常规水作降低 36.5% 和 38.9%,其它生育期水分处理差异不大。

### 3 讨论

水稻覆膜旱作作为节水农业的一项关键技术,在适宜的栽培管理条件下能协调土、肥、气等生态因子,在显著提高水肥利用效率的前提下能取得明显比裸地旱作高的产量,而与传统灌溉相比并未明显减产甚至增产,具有较大的应用潜力。本试验及相关研究表明,覆膜后明显改善了土壤的水、温、气、养分的供给条件,有利于保持植株的良好群体发育,从而促进了水稻前期的稳健生长,使根系发达,根系生理活性增加,分蘖发生多,有效穗数和产量比旱作要明显增加,并能达到与常规水作相近的植株生育特性和产量<sup>[4,9-12,27]</sup>。

对于水稻覆膜旱作后的土壤养分吸收及转化,本研究表明,覆膜处理对在生育前期土壤养分影响不大,与旱作、常规水作差异不大,但在中期(抽穗期)则由于覆膜后作物对养分的消耗加大从而使土壤养分含量有下降的趋势,特别是总磷、速效磷、速效钾与常规水作相比显著下降,从而将影响土壤肥力。有研究证实,覆膜栽培后由于提高了对养分的吸收从而影响了土壤 N、P、K 的养分平衡<sup>[16]</sup>。Cheng 等<sup>[15]</sup> 研究表明,覆膜后在拔节期提高了土壤 N 的积累,抽穗期和成熟期则降低了 N、P 和 K 的积累。与传统水作相比,覆膜旱作后由于土壤温度和湿度的显著提高,使土壤好气性微生物活性增强,有机质分解加快,氮肥利用效率提高,从而造成土壤有机质和全氮呈下降趋势,而土壤的速效氮、速效 K 显著提高<sup>[13,14,17]</sup>。对于覆膜旱作后的土壤速效磷含量,有的认为覆膜旱作水稻由于对磷的较高吸收积累量而造成土壤速效磷含量降低<sup>[13]</sup>,有的则认为覆膜后土壤速效磷含量略有增加<sup>[14]</sup>。因此水稻覆膜旱作对土壤肥力的影响目前结果还不完全一致,原因可能是试验的周期、不同的土壤类型、不同的肥水管理措施等都可能影响试验的结果。但总体上来讲,覆膜旱作将会造成水

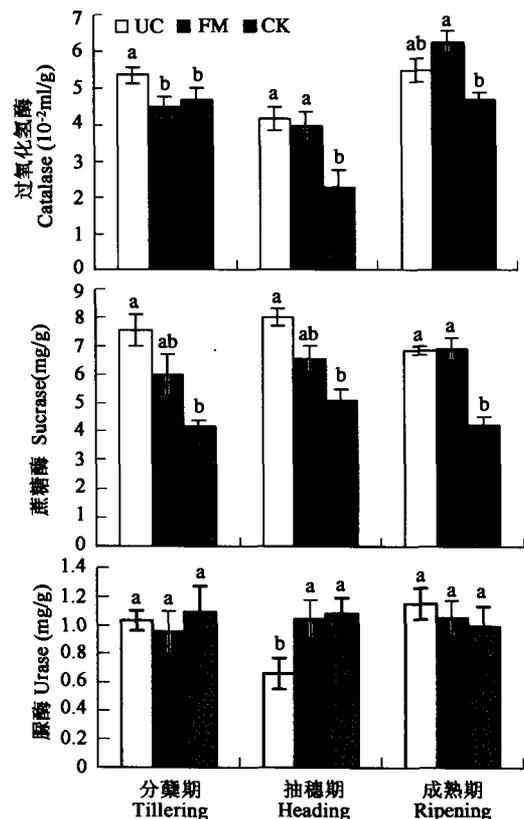


图2 覆膜旱作对土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶活性的影响

Fig.2 Effects of film mulching on catalase, sucrase and urease activity of soil

稻生育中后期土壤肥力呈下降的趋势。因此水稻生育后期甚至下一季年土壤肥力下降是一个注意值得的问题,生产上可通过增施有机肥、秸秆还田等措施加以解决,或采用与其它豆科的作物间作等栽培方式维持土壤肥力。

土壤生态系统中的微生物是土壤物质循环和能量流动的主要参与者,对于土壤养分的吸收和转化起着非常重要的推动作用。地膜覆盖增加了土壤微生物活性,研究表明,与传统淹水相比,水稻旱作和覆膜旱作后能明显提高整个生育期的土壤细菌、真菌、放线菌的数量。其原因可能是旱作后增加土壤水分的通气性,好气性微生物数量和活性增加,但这方面的详细情况还这有待于进一步研究。宋秋华等<sup>[19]</sup>研究表明,各类群微生物数量和总数都与土壤温度呈极显著正相关,而与土壤湿度呈极显著(反硝化细菌为显著)负相关。同时覆膜旱作还增加了土壤过氧化氢酶、蔗糖酶活性,特别是蔗糖酶的活性,与淹水栽培相比,覆膜后在分蘖期、抽穗期、成熟期增加 28.8%~69.9%,而脲酶活性则无明显差异。说明覆膜旱作后提高了土壤微生物活性,增加了土壤中有机养分的分解消耗和无机养分的转化,从而满足作物对养分的需求。廖敏等<sup>[21]</sup>利用土壤微生物量、土壤电子运输系统活度、土壤中总酚、土壤中蛋白质作为评价土壤微生物生态系统质量的指标,研究表明,覆膜栽培方式下土壤微生物生物量相对较高;土壤电子运输系统活度更强;土壤蛋白质和土壤总酚含量更高,说明覆膜旱作有利于改善土壤微生物生态质量,加速土壤物质周转和循环。有关研究表明,土壤微生物数量与土壤有机碳含量、全氮、速效磷之间呈显著或极显著负相关<sup>[19]</sup>。因为微生物数量多和土壤酶活性提高后,促进土壤养分的分解和释放,使作物吸收大量的土壤氮和磷,从而导致现存总氮和速效磷的减少。这也印证了为什么土壤微生物数量增加和土壤酶活性提高后,而土壤养分则相对减少。

#### References:

- [ 1 ] Zhang Q S, Shen Z R. Water crisis and strategies of Chinese agricultural sustainable development. *Crop Journal*, 1997, (6): 9 ~ 12.
- [ 2 ] Jin Q Y, Ou Y Y. Water-saving rice on China. *Chinese Rice*, 1999, 27(1): 9 ~ 12.
- [ 3 ] Liang Y C, Hu F, Yang M C, *et al.* Mechanisms of high yield and irrigation water use efficiency of rice in plastic film mulched dryland. *Sci. Agri. Sin.*, 1999, 32(1): 26 ~ 32.
- [ 4 ] Huang Y D, Zhang Z L, Wei F Z. Ecophysiological effects of dry-cultivated and plastic film-mulching rice planted. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1999, 10(3): 305 ~ 308.
- [ 5 ] Peng S, Shen K, Wang X, *et al.* A new rice cultivation technology: plastic film mulching. *IRRN*, 1999, (1): 9 ~ 10
- [ 6 ] Pan L Q, Wu L H. Improvement of underground water quality under film mulching cultivation in rice field. *Agro-environmental Protection*, 2000, 19(5): 260 ~ 262.
- [ 7 ] Wu L H, Zhu Z R, Liang Y C. The development of the rice film mulching cultivation. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1999, 25(1): 41 ~ 42.
- [ 8 ] Zheng Z S, Wu L H, Kong X J, *et al.* Study on high yielding cultivation technologies of film covered rice dry farming. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2000, 16(3): 55 ~ 60.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] Shen H J, Shen Q R, Feng K. Population development characteristics of rice crop cultivated on areobotic soil with mulching. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15(1): 59 ~ 62.
- [ 11 ] Cai K Z, Huang Y Z, Huang G Q. Effects of film mulching on plant traits and physiological activity of rice root. In: Li S X ed. *Proceedings of the International Workshop on Water-saving Agriculture in Dryland areas*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2003.
- [ 12 ] Cai K Z, Hong Y B, Guo Z T, *et al.* Effects of film mulched upland rice on growth and development characteristics and yield component. In: Mei X R, *et al.* eds. *Theories and technologies of water-saving agriculture*. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2004.
- [ 13 ] Hu F, Liang Y C, Li H X. Soil fertility change and soil management of rice film mulching on dryland. In: Chinese Society of Soil eds. *Soil Science to 21 century (Comprehensive volume)*, 1999. 265.
- [ 14 ] Liu M, Wu L H. Study on changes of soil fertility in rain fed paddy soils with mulching plastic film. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2003, 15 (1): 8 ~ 12.
- [ 15 ] Cheng W D, Zhang G P, Yao H G, *et al.* Nutrient accumulation and utilization in rice under film-mulched and flooded cultivation. *Journal of Plant Nutrition*, 2003, 26 (12): 2489 ~ 2501.

- [16] Liu X J, Wang J C, Lu S H, *et al.* Effects of non-flooding mulching cultivation on crop yield, nutrient uptake and nutrient balance in rice-wheat cropping systems. *Field Crops Research*, 2003, 83: 297 ~ 311.
- [17] Ai Y W, Liu X J, Zhang F S, *et al.* Utilization rate of nitrogen fertilizer of rice (*Oryza sativa*) as influenced by mulch and dryland farming. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 152 ~ 155.
- [18] Chen X S, Guo S F, Wang J K, *et al.* Effects of mulching cultivation with plastic film on soil microbial population and biological activity. *Chinese J. of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 435 ~ 439.
- [19] Song Q H, Li F M, Wang J, *et al.* Effects of various mulching durations with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of spring wheat filed in semi-arid Loess Plateau China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (12): 2125 ~ 2132.
- [20] Zhang C E, Liang Y L, Huo X B. Effects of Plastic Cover Cultivation on Soil Microbial Biomass. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 508 ~ 512.
- [21] Liao M, Xie X M, Wu L H, *et al.* Effects of dry-cultivated and plastic film-mulched rice planting on microorganism ecological quality in a paddy field soil. *Chinese J. Rice*, 2002, 16(3): 243 ~ 246.
- [22] Bao S D. *Analysis of soil agricultural chemistry*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.
- [23] Xu G H, Zheng H Y. *Manual of analyzing methods of soil microorganism*. Beijing: Agricultural Press, 1983. 103 ~ 109, 265 ~ 266.
- [24] Yan X S. *Methods of soil fertility*. Beijing: Agricultural Press, 1985. 243 ~ 245, 288 ~ 289.
- [25] Wang S S, Deng G Z. Mechanisms of increasing temperature with film mulching. *Sci. Agri. Sin.*, 1991, 24(3): 74 ~ 78.
- [26] Wang Z G, Liang J S, Cao X Z, *et al.* Effects of half-root-dried treatment on photosynthetic characteristics and sugar metabolism of rice leaf. *Jiangsu Agricultural Research*, 1999, 20(3): 21 ~ 26.
- [27] Zhang S, Wu X Z, Jiang B F, *et al.* Technological effects of rice film mulching. *Helongjiang Agricultural Science*, 1983, (5): 20 ~ 24.

#### 参考文献:

- [1] 张启瞬, 沈振荣. 中国农业持续发展的水危机及其对策. *作物杂志*, 1997, (6): 9 ~ 12.
- [2] 金千瑜, 欧阳由南. 我国发展节水型稻作的若干问题探讨. *中国稻米*, 1999, 27(1): 9 ~ 12.
- [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, 32(1): 26 ~ 32.
- [4] 黄义德, 张自立, 魏凤珍, 等. 水稻覆膜旱作的生态生理效应. *应用生态学报*, 1999, 10(3): 305 ~ 308.
- [6] 潘腊青, 吴良欢. 水稻覆膜旱作栽培方式对稻田地下水水质的影响. *农业环境保护*, 2000, 19(5): 260 ~ 262.
- [7] 吴良欢, 祝增荣, 梁永超, 等. 水稻覆膜旱作节水节肥高产栽培技术. *浙江农业大学学报*, 1999, 25(1): 41 ~ 42.
- [8] 郑寨生, 吴良欢, 孔向军, 等. 水稻覆膜旱作栽培技术研究. *上海农业学报*, 2000, 16(3): 55 ~ 60.
- [9] 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.
- [10] 盛海君, 沈其荣, 封克. 覆盖旱作水稻群体发育特征分析. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 59 ~ 62.
- [11] 蔡昆争, 黄瑶珠, 黄桂强. 水稻地膜覆盖对植株性状和根系生理活性的影响. 见: 李生秀主编. 国际旱地节水农业研讨会论文集. 北京: 中国农业出版社, 2003, 284 ~ 289.
- [12] 蔡昆争, 洪彦彬, 郭志台, 等. 覆膜旱作对水稻生育特性和产量构成的影响. 见: 梅旭荣等主编. 节水高效农业理论与技术. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004, 341 ~ 346.
- [13] 胡锋, 梁永超, 李辉信. 覆膜旱作稻田土壤肥力演变与土壤管理问题. 见: 中国土壤学会编. 迈向 21 世纪的土壤科学(综合卷), 1999a, 265.
- [14] 刘铭, 吴良欢. 覆膜旱作稻田土壤肥力变化的研究. *浙江农业学报*, 2003, 15(1): 8 ~ 12.
- [17] 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, 41(1): 152 ~ 155.
- [18] 陈锡时, 郭树凡, 汪景宽, 等. 地膜覆盖栽培对土壤微生物种群和生物活性的影响. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 435 ~ 439.
- [19] 宋秋华, 李凤民, 王俊, 等. 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响. *生态学报*, 2002, 22(12): 2125 ~ 2132.
- [20] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌, 等. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响. *生态学报*, 2002, 22(4): 508 ~ 512.
- [21] 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.
- [22] 鲍士旦主编. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 许光辉, 郑洪元主编. *土壤微生物分析方法手册*. 北京: 农业出版社, 1983.
- [24] 严昶升主编. *土壤肥力研究法*. 北京: 农业出版社, 1985.
- [25] 王树森, 邓根之. 地膜覆盖增温机制的研究. *中国农业科学*, 1991, 24(3): 74 ~ 78.
- [26] 王泽港, 梁建生, 曹显祖, 等. 半根于旱胁迫处理对水稻叶片光合特性和糖代谢的影响. *江苏农业研究*, 1999, 20(3): 21 ~ 26.
- [27] 张矢, 吴宪章, 蒋本福, 等. 水稻陆稻地膜覆盖栽培的技术效应. *黑龙江农业科学*, 1983, (5): 20 ~ 24.