

# “黑麦草 - 水稻” 草田轮作系统的根际效应 II . 冬种黑麦草对土壤物理化学性状的影响<sup>\*</sup>

辛国荣 岳朝阳 李雪梅 杨中艺

(中山大学生命科学学院, 广州 510275)

**摘 要** 研究了冬种黑麦草对土壤物理化学性状的影响. 结果表明, 冬种黑麦草使土壤容质量下降 9.4%, 而对照区仅下降 4.0%; 冬种黑麦草使土壤有机质质量分数提高了 66%, 而对照区降低了 14%; 冬种黑麦草使土壤的全 N, 全 P 和有效 N, 有效 P 的质量分数分别提高了 26%, 32%, 67% 和 33%, 而对照区下降了 13%, 4%, 20% 和 13%; 冬种黑麦草使土壤的全 K 和有效 K 质量分数提高了 14% 和 78%, 对照区也提高了 10% 和 10%; 种草区虽然土壤养分的增加与施肥有关, 但有效 N 和 K 的增加显然还受到根际效应的影响, 其证据是: 在种草区, 尽管土壤中的 N 通过收获黑麦草产生了较大的净输出 ( $28.0 \text{ g/m}^2$ ), 但土壤 N 含量仍然有不寻常的增加, 说明可能存在着不明 N 源. 2 种养分有效含量的增幅比全量的增幅更大. 从收获的黑麦草中发现土壤有 N 的净输出, 可能是由于冬种黑麦草有不明来源的 N 素积累.

**关键词** 草田轮作, 根际效应, 黑麦草, 根系, 土壤物化性状

**分类号** Q 945.15

“黑麦草 - 水稻” 草田轮作系统 (italian ryegrass - rice rotation system, 简称 IRR 系统) 是一种禾本科作物间的轮作系统<sup>[1-3]</sup>, 相对于豆科植物因其固氮作用所产生的肥效作用而言, 传统上往往把禾本科植物当作消耗地力的植物. 因此, 在水田冬种黑麦草对地力的影响是决定 IRR 系统能否应用的关键问题. 过去的研究重点探讨冬种黑麦草对后作水稻生长和产量的影响<sup>[4,5]</sup>, 本系列研究则重点探讨导致这些影响的主要机理, 并已经确认了土壤微生物的作用<sup>[6]</sup>. 本试验研究了黑麦草根系对土壤物理化学性状的影响.

## 1 材料与方 法

(1) 试验地条件: 试验地位于中山大学竹园内. 砂壤质红壤, 土壤肥力较低. 曾栽培过绿肥作物长喙田菁 (*Sesbania rostrata*), 试验前有 1 a 的闲置期.

(2) 实验处理: 实验处理分为种草施肥区 (处理区) 和冬闲无肥区 (对照区). 每处理区设置 4 个重复小区, 每小区的面积是  $1.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ . 种草区于 1995 年 12 月 27 日播种黑麦草.

(3) 试验材料: 本试验所使用的意大利黑麦草 (*Lolium multiflorum*) 为从日本引进的

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金 (39570421) 和广东省自然科学基金资助项目

收稿日期: 1998-01-13 辛国荣, 男, 29 岁, 讲师

二倍体品种早生丰 (cv. *Waseyutaka*), 该品种根系比较发达. 播种量为  $1.5 \text{ g/m}^2$ . 试验期间共施肥  $212 \text{ g/m}^2$  (15-15-15氮磷钾复合肥), 分 3 次施入. 黑麦草的全生长期内共刈割 3 次, 每次刈割的留茬高度为 5 cm. 对照区在试验期间不种植任何植物, 也不施肥, 只自然生长一些杂草, 主要是腺豚茅希签 (*Siegebeckia pubescens*), 辣蓼 (*Polygonum hydrpiper*) 等.

(4) 观测项目和分析方法: 在种草后 78, 9 和 135 d 对黑麦草生长期株高、地上部和根系生物量进行测定. 分别在 1995 年 12 月 20 日 (以 I 期表示, 下同), 1996 年 3 月 5 日 (以 II 期表示, 下同) 和 1996 年 6 月 1 日 (以 III 期表示, 下同) 采集了处理和对照区的土壤样品, 并测定了土壤团粒度 (干筛法)、容质量 (环刀法)、pH 值 (酸度计法)、有机质 (油浴  $\text{-K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  容量滴定法)、全 N (凯氏定氮法)、全 P (磷钼蓝比色法)、全 K (原子吸收光谱法)、有效 N (蒸馏法)、有效 P (HCl-NH<sub>4</sub>F 测定法) 和有效 K (原子吸收光谱-二酸法)<sup>[6]</sup>.

## 2 结 果

### 2.1 土壤容质量的变化

试验开始时 (I 期), 处理区和对照区土壤容质量分别为  $1.36$  和  $1.49 \text{ g/cm}^3$ , II 期处理区土壤容质量下降为  $1.32 \text{ g/cm}^3$ , 试验结束时 (III 期) 则下降到  $1.23 \text{ g/cm}^3$ , 试验期间共下降了 9.38%; 对照区土壤容质量则略有下降, 但变化幅度不大 (-3.99%). 处理区和对照区土壤容质量在试验前后的变化均无显著意义 (表 1).

### 2.2 土壤 pH 值的变化

种草前处理区和对照区的土壤 pH 值分别为 5.54 和 5.55, 到 II 期, 处理区的 pH 值下降到 5.39, 至 III 期降低到 5.22, 与种草前相比, pH 值降低了 5.8%, 但 3 次测定的平均值间无显著差异; 对照区 pH 值在 II 期为 5.69, 较种草前略有升高, 至 III 期又降低到 5.35. 两试验区土壤 pH 值 3 次测定值间无显著差异.

### 2.3 土壤有机质质量分数的变化

在黑麦草播种前, 处理区和对照区土壤  $w$  (有机质) 分别是 2.10% 和 3.19%; 到 II 期, 分别是 3.26% 和 3.02%, 处理区土壤  $w$  (有机质) 提高了 54.6%, 而对照区则略有下降; 至 III 期, 处理区的  $w$  (有机质) 继续上升为 3.50%, 与试验前相比, 上升了 66.2%; 而对照区继续下降为 2.76%, 比试验前降低了 13.9%. 试验开始时与试验结束时相比, 土壤  $w$  (有机质) 在处理区所呈现的上升趋势具有极显著性 ( $P < 0.01$ ), 在对照区的变化则没有显著意义.

### 2.4 土壤全量 N, P, K 质量分数的变化

处理区和对照区土壤  $w$  (全 N), 在黑麦草播前分别是  $1.125 \times 10^{-3}$  和  $1.440 \times 10^{-3}$ , 至 II 期, 处理区的  $w$  (全 N) 上升为  $1.500 \times 10^{-3}$ , 增加了 33.3%; 而对照区下降为  $1.178 \times 10^{-3}$ , 降低了 18.2%; 到 III 期, 处理区土壤  $w$  (全 N) 较 II 期略有下降, 为  $1.418 \times 10^{-3}$ , 但仍比实验开始时上升了 26%; 对照区则为  $1.253 \times 10^{-3}$ , 比 II 期测定值略高, 但同试验前相比还是下降了 13%.

表 1 各变量 I 期和 III 期观测值差异显著性分析  
Tab. 1 The significances of difference of observed variables between the start and the end of the experiment

项目	处理区		对照区	
	增减 %	显著性	增减 %	显著性
全 N	+ 26	无	- 13	无
全 P	+ 32	无	- 4	无
全 K	+ 14	$P < 0.01$	+ 10	$P < 0.01$
有效 N	+ 67	$P < 0.01$	- 20	无
有效 K	+ 78	$P < 0.01$	+ 10	无
有效 P	+ 33	无	- 13	无
有机质	+ 66	$P < 0.01$	- 14	无
容质量	- 9.4	无	- 4.0	无
pH	- 6	无	- 4	无

1) + 为增加, - 为减少

处理区和对照区土壤  $w(\text{全 P})$  在黑麦草播前分别为  $4.3463 \times 10^{-4}$  和  $4.3486 \times 10^{-4}$ , 至 II 期, 种草区上升为  $5.3039 \times 10^{-4}$ , 升高了 22%; 到 III 期, 又上升为  $5.7508 \times 10^{-4}$ , 比种草前提高了 32%; 对照区土壤  $w(\text{全 P})$  的变化则很小, 与同试验前相比, 试验结束时对照区土壤  $w(\text{全 P})$  降低了 4%.

处理区和对照区土壤  $w(\text{全 K})$ , 在试验期间基本上呈上升趋势, 处理区从  $1.12 \times 10^{-3}$  大幅度上升为  $1.3 \times 10^{-3}$  后略有下降, 对照区则从  $1.05 \times 10^{-3}$  上升为  $1.10 \times 10^{-3}$ , 试验前后处理区上升了 14%, 对照区则上升了 10%. 无论是处理区还是对照区, 无论是处理区还是对照区, 试验前后土壤  $w(\text{全 N})$  和  $w(\text{全 P})$  的变化均无显著意义, 而试验后土壤  $w(\text{全 K})$  则均极显著地 ( $P < 0.01$ ) 高于试验前 (表 1).

## 2.5 土壤有效态 N, P, K 质量分数的变化

种草前处理区和对照区土壤  $w(\text{有效 N})$  分别为  $8.40 \times 10^{-5}$  和  $1.05 \times 10^{-4}$ . 其后, 处理区大幅度增加为  $1.96 \times 10^{-4}$ , 后又下降为  $1.40 \times 10^{-4}$ ; 对照区则呈略微下降的趋势. 试验前后处理区土壤  $w(\text{有效 N})$  增加了 67%, 在统计学上具有极显著意义 ( $P < 0.01$ ), 对照区则下降 20%, 但不具显著意义.

种草前处理区和对照区的土壤  $w(\text{有效 P})$  为  $1.17 \times 10^{-5}$  和  $8.55 \times 10^{-6}$ , 种草后处理区迅速上升为  $1.575 \times 10^{-5}$ , 试验结束时  $w(\text{有效 P})$  提高了 33%; 对照区则有少幅度的波动, 试验结束时有效磷含量下降了 13%.

种草前, 处理区和对照区土壤  $w(\text{有效 K})$  分别为  $4.19 \times 10^{-5}$  和  $4.90 \times 10^{-5}$ , 试验期间处理区土壤  $w(\text{有效 K})$  有大幅度的波动, II 期, 其  $w(\text{有效 K})$  急剧增加到  $1.04 \times 10^{-4}$ , 增加了 1.48 倍; 到 III 期, 又降低为  $7.47 \times 10^{-5}$ , 但与试验前相比, 增加了 78.3%, 且在统计学上具有极显著意义 ( $P < 0.01$ ). 对照区的土壤  $w(\text{有效 K})$  则变化不大, 试验结束时其含量增加 10.4%, 在统计学上无显著意义 (表 1).

## 2.6 养分平衡 (输入输出)

冬种黑麦草期间的养分平衡情况如表 2 所示. 处理区 N 素有输出没有输入, P 素和 K 素有输入而没有输出. 而对照区 N, P, K 各养分的平衡均为负值. 只有输出没有输入.

表 2 试验期间土壤养分平衡

Tab. 2 The inputs and outputs of soil nutrients in the experimental period  $\text{g/m}^2$

项 目	N 素			P 素			K 素		
	输入	输出	平衡	输入	输出	平衡	输入	输出	平衡
处理区	31.8	59.8	- 28.0	31.7	9.7	+ 22.0	31.7	28.0	3.7
对照区	0.0	13.2	- 13.2	0.0	1.3	- 1.3	0.0	4.7	- 4.7

## 3 讨 论

作物对土壤的作用一方面是通过根系的生长, 可以加大土壤的孔隙, 使土壤的紧实度降低, 一般表现为土壤容质量的下降; 另一方面, 通过增加土壤中有有机成分, 使土壤微生物和动物的活动得到加强, 并通过腐殖质的增加改善土壤的团粒结构.

黑麦草具有发达的须根, 在土壤表层 (10 cm) 其数量可以达到  $597 \sim 1\,148 \text{ g/m}^2$ <sup>[21]</sup>, 这些残留在土壤中的根系极大地丰富了土壤有机质, 因此, 种草区的土壤  $w_1(\text{有机质})$  得以在未

施用任何有机质的情况下大幅度的持续增加,增加了 66.2%,土壤容质量也有一定程度的下降;而对照区在冬闲期间土壤  $w$ (有机质)则减少了 13.5%。由此可见,冬种黑麦草在改善土壤结构和增加土壤  $w$ (有机质)方面的效果是十分明显的。

种植黑麦草后土壤全量 N, P, K 有上升趋势,对于 P 和 K 来说,由于种草期间通过施肥输入 P, K 的数量多于黑麦草地上部所吸收的 P, K 数量,因此土壤  $w$ (全 P)和  $w$ (全 K)的上升显然受到了冬种黑麦草期间施肥的影响;但 N 素的情况就比较复杂,试验证明,通过施肥所输入的 N 的数量远少于黑麦草地上部所吸收并被移出系统的 N 的含量,因此,种草区土壤  $w$ (全 N)的增加不能完全归于施肥的影响,其中隐含着不明的 N 源。过去的研究也发现了相类似的情况,即在接种了稻田微生物的培养液中栽培黑麦草,出现了不同寻常的 N 素积累<sup>[5]</sup>。这一现象可能与土壤微生物的活动有关,尽管有关细节还有待研究,但这种 N 素的加入,对后作水稻的生长无疑是有益的。

在种草区,土壤有效 N, P 和 K 的质量分数均有明显提高,尤其是有效 N 和有效 K,其增加幅度远大于全 N 和全 K。这一结果在以下 3 个方面是值得探讨的:① 可能由于黑麦草通过其根际活性(影响土壤微生物、土壤酶、有机酸分泌、改变土壤酸度等)在一定程度上促进了土壤养分的有效化进程;② 尽管通过施肥加入土壤中的养分以有效态居多,因而有可能导致有效态养分的增幅高于养分总量的增幅,但是,通过刈割黑麦草而被移出土壤的养分在理论上也是已经被有效化的成分,其中 P 的移出量较小(占施肥输入量的 31%),N 和 K 的移出量则是很大的(分别占施肥输入量的 18% 和 88%);③ 土壤中的有效养分一般较容易因淋溶而流失,本试验结果却在一定程度上说明了种草区有效地防止了有效态养分的流失。以上 3 个方面的讨论都初步表明了种草区土壤有效态养分含量的显著增加应与黑麦草的根际活性有关,其机理仍有待进一步研究,但其表现出来的活化土壤养分以及减少养分流失的效应显然将在后作水稻的生长过程中发挥重要的作用。

冬种意大利黑麦草改善了土壤的物理结构,在增加土壤  $w$ (有机质)和  $w$ (全 N)方面的效应尤为显著,且出现了除施肥以外的 N 素来源;冬种黑麦草还增加了土壤养分,尤其是 N 和 K 的有效性。

## 参 考 文 献

- 1 杨中艺,潘静澜.“黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究. 1 意大利黑麦草引进品种在南亚热带地区集约栽培条件下的生产能力. 草业学报, 1994, 3 (4): 20~ 26
- 2 杨中艺,潘静澜.“黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究. 2 意大利黑麦草引进品种在南亚热带地区免耕栽培条件下的生产能力. 草业学报, 1995, 4 (4): 46~ 51
- 3 杨中艺,潘哲祥.“黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究. 3 意大利黑麦草引进品种在南亚热带地区集约栽培条件下的生产能力. 草业学报, 1995, 4 (4): 52~ 57
- 4 杨中艺.“黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究. 4 冬种意大利黑麦草对后作水稻生长和产量的影响. 草业学报, 1996, 5 (2): 38~ 42
- 5 杨中艺,岳朝阳,辛国荣. 稻田冬种黑麦草对后作水稻生长的影响及其机理初探. 草业科学, 1997, 14 (4): 20~ 24

- 6 杨中艺, 辛国荣, 岳朝阳. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的根际效应. 1. 接种稻田土壤微生物对黑麦草生长和氮素营养的影响. 中山大学学报 (自然科学版), 1997, 36 (2): 1-5
- 7 李笃仁, 黄照愿. 实用土壤肥料手册. 北京: 中国农业科技出版社, 1992

## Rhizosphere Effects in Ryegrass-Rice Rotation System

### II. Effects of Ryegrass Winter Cropping on Soil

#### Chemical and Physical Characters

*Xi Guorong*<sup>\*</sup>   *Yue Chaoyang*   *Li Xuemei*   *Yang Zhongyi*

**Abstract** Effects of ryegrass (*Lolium multiflorum*) winter cropping on soil chemical and physical characters were investigated with a field experiment. The results showed the soil bulk density decreased by 9.4% under ryegrass winter cropped (RWC) condition, but only 4.0% decrease was observed under winter fallowed (WL) one. Soil organic matter increased by 66% under RWC, but decreased by 14% under WL. Total nitrogen, phosphorus, potassium, and available nitrogen, phosphorus and potassium in soil increased by 26%, 32%, 14%, and 67%, 33% and 78%, respectively under RWC, but under WC, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen and phosphorus decreased by 13%, 4%, 20% and 13%; both total potassium and available potassium increased by 10%. Although the increments of the soil nutrients would be attributed to the input from fertilization, the availabilities of nitrogen and potassium seemed to be affected by the rhizosphere activities, due to the fact that the increments of the two nutrients in the available fragment were larger than that in the total one under RWC. The unusual nitrogen increment, which accompanied with a great net output (28.0 g/m<sup>2</sup>) of soil nitrogen by harvesting ryegrass, indicated that there was an unknown income of soil nitrogen.

**Keywords** ryegrass, rice, crop rotation, rhizosphere, soil character

<sup>\*</sup> School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China