

# 不同粮草复种方式下土壤养分动态研究

朱练峰<sup>1,2</sup>, 江海东<sup>2\*</sup>, 金千瑜<sup>1</sup>, 禹盛苗<sup>1</sup>, 欧阳由男<sup>1</sup>, 曹卫星<sup>2</sup>

(1 中国水稻研究所, 水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310006;

2 南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 南京 210095)

**摘要:** 对 6 种不同的粮草复种方式下土壤养分的季节变化进行了比较研究。结果表明: 冬季种植牧草与种植粮食作物比较降低了土壤 pH 值、增加了土壤有机质和速效养分, 特别是冬季种植多花黑麦草和黑麦明显增加了土壤有机质、碱解 N、速效 K 和速效 P 含量, 促进后作生长, 为后季作物增产提供可能性。土壤 pH 值随土层增加而增加, 土壤养分随土层增加而减少。经过一个复种周期, 各复种方式土壤 pH 值稍有提高; 有机质、全 N、碱解 N 含量稍有降低, 变化不大; 土壤速效 P 和速效 K 含量有较大幅度的降低。

**关键词:** 土壤; 复种方式; 有机质; 速效养分

**中图分类号:** S158.3

中国已被世界贸易组织正式接受为其成员国, 中国农业将随之全面融入国际社会。为了尽快实现与世界现代农业接轨, 提高农业效益, 增加农民收入, 减轻因农产品生产结构性过剩所带给政府的财政压力, 必须进行种植制度的重大变革, 以一种高产、高效、可持续发展的农牧结合耕作制度(混合饲养型耕作制度)取代传统的谷物大田耕作制<sup>[1-3]</sup>。随着可持续农业和生态农业的发展, 一种种植方式要得到推广和发展, 不仅要有高的经济效益, 还要有较高的生态效益和社会效益。因此要求我们在创新、推广种植模式的时候既注重经济效益又能保护土壤生态环境, 提高土壤肥力, 实现土地资源的可持续利用。这方面的研究越来越多地受到人们的关注, 如 Niu 等<sup>[4]</sup>研究了长期施肥对“小麦-玉米”轮作系统土壤肥力的影响, 辛国荣等<sup>[5]</sup>研究了冬种黑麦草期间施肥对后作水稻生产的影响; 张华勇等<sup>[6]</sup>研究了稻麦田改为菜地后土壤生化指标的变化; 范钦桢等<sup>[7]</sup>研究了长期肥料定位试验中土壤 K 素肥力的演变。他们的研究结果为种植制度的改革、土壤保护和改良起到了一定指导作用。农田种植牧草不仅提高了土壤利用率, 增加了农民收入, 还提高了土壤肥力<sup>[8-9]</sup>, 但是目前对于农田种植牧草改善土壤理化性状、提高土壤肥力的研究, 还仅限于冬季水田种植牧草后对土壤肥力的改变<sup>[10-12]</sup>。而作为适应种植制度改革而出现的新型“粮-草”、“草-粮”、“草-草”型复种方式, 各茬作物种植前后土壤理化性状、土壤肥力的动态变化则缺乏研究。

本研究对“冬牧 70 黑麦-水稻”、“多花黑麦草-水稻”、“小麦-水稻”、“冬牧 70 黑麦-杂交狼尾草”、“多花黑麦草-杂交狼尾草”和“小麦-杂交狼尾草”6 种不同的复种方式进行了比较研究, 研究在不同的复种方式下土壤养分的动态变化, 为种植业结构调整、土壤培肥和保持土壤养分平衡提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验在江苏省农业科学院试验农场进行, 地处北纬 32°32'、东经 118°48', 年平均温度、最高温度和最低温度分别为 15、39 和 -12, 年平均降雨量 1000 mm 左右, 全年无霜期为 220~240 天, 10 月的积温约 4800。试验区土壤为黏性马肝土, 含有机质 19.8 g/kg、全 N 1.12 g/kg、碱解 N 96.32 mg/kg、速效 P 47.92 mg/kg、速效 K 178.43 mg/kg, pH 值 6.74。

### 1.2 试验材料

夏播作物为水稻 (*Oryza sativa* L. Var. P12) 中籼 P12; 江苏农业科学院育种材料杂交狼尾草 (*Pennisetum americanum* × *P. purpureum*) (P.P), 江苏农业科学院从美国引进品种。冬季作物为冬牧 70 黑麦 (*Secale cereal* Var. Dongmu 70)、劲能多花黑麦草 (*Lolium multiflorum* Var. Energy) 和扬麦 158 (*Triticum eastivum* Var. Yangmai 158)。

### 1.3 试验处理

1.3.1 复种方式和种植密度 试验设 6 种复种方

基金项目: 江苏省国际科技合作计划项目 (BZ2001038) 和国家科技部“十五”攻关项目 (2004BA520A14) 资助。

\* 通讯作者 (hdjiang@mail.njau.edu.cn)

作者简介: 朱练峰 (1977—), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 主要从事水稻生理生态研究。E-mail: zlfj@163.com

式,黑麦-水稻 (*Secale cereal* L. -*Oryza sativa* L. 简称为 S-O)、多花黑麦草-水稻 (*Lolium multiflorum* Lam. -*Oryza sativa* L.简称为 L-O)、小麦-水稻 (*Triticum eastivum* L. -*Oryza sativa* L.简称为 T-O)、黑麦-杂交狼尾草 (*Secale cereal*-*Pennisetum americanum* L.×*P. purpureum* 简称为 S-P)、多花黑麦草-杂交狼尾草 (*Lolium multiflorum*-*Pennisetum americanum* L.×*P. purpureum* 简称为 L-P) 和小麦-杂交狼尾草 (*Triticum eastivum*-*Pennisetum americanum* L.×*P. purpureum* 简称为 T-P)。2002 年夏季在试验地上分别种植杂交狼尾草和水稻,前作为小麦。杂交狼尾草于 2002 年 3 月 24 日育苗,5 月 21 日移栽,行距 45 cm,株距 40 cm;水稻于 2002 年 5 月 15 日播种,6 月 13 日移栽,行距为 23 cm,株距为 13 cm。都是随机区组设计,重复 3 次,小区面积为 63 m<sup>2</sup>。2002 年 11 月 5 日播种冬牧 70 黑麦、多花黑麦草和小麦,播种量分别为 90、30 和 150 kg/hm<sup>2</sup>,行距分别为 30、30 和 25 cm;黑麦最后一次收割为 2003 年 5 月 17 日,多花黑麦草最后一次收割为 2003 年 5 月 30 日,小麦 2003 年 6 月 3 日收获。2003 年 5 月 20 日水稻播种育秧,6 月 21 日移栽水稻,水稻栽插行距 23 cm,株距 13 cm。2003 年 3 月 26 日进行杂交狼尾草育苗,在多花黑麦草、黑麦、小麦收获后移栽杂交狼尾草,黑麦地 5 月 20 日移栽,多花黑麦草和小麦地 6 月 6 日移栽,行距 45 cm,株距 40 cm。

1.3.2 施肥及田间管理 各复种方式的相同作物施肥量相同(表 1),其中 P 肥和 K 肥是无机复合肥(N:P:K=10:8:7),全部以基肥的形式一次性施入;N 肥除了基肥外,生育期内按用量施用尿素补足。田间肥、水、病虫害管理均同大田一致。

表 1 不同作物施肥量 (kg/hm<sup>2</sup>)

Table 1 Fertilizer input of different crops

作物	N	P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K (K <sub>2</sub> O)
杂交狼尾草	345	60	52.5
水稻	225	60	52.5
多花黑麦草	345	60	52.5
冬牧 70 黑麦	285	60	52.5
小麦	225	60	52.5

#### 1.4 测定项目与方法

从 2002 年夏季开始,分别于 2002 年夏季作物种植前(季次 1)、2002 年夏季作物收获后(季次 2)、2002 年冬季作物收获后(季次 3)和 2003 年夏季作物收获后(季次 4),在各试验小区用取土器分 0~20cm、20~30 cm 两个土层 5 点取样法取土样,风干后测定土壤 pH 值、有机质、土壤全 N、碱解 N、速效 P 和速效 K 含量。

pH 值采用 pH 计测定,土壤全 N 测定采用半微量开氏蒸馏法,土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化法,土壤碱解 N 测定采用康惠皿扩散吸收法,土壤速效 P 测定采用钼锑抗比色法,土壤速效 K 测定采用火焰光度法<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤 pH 值变化动态

从图 1 可知,0~20 cm 土层各复种方式土壤 pH 值基本呈现夏季作物种植后 pH 值升高,冬季作物种植后 pH 值降低的趋势,在所有季次中夏季种植杂交狼尾草的复种方式比种植水稻的土壤 pH 值低。

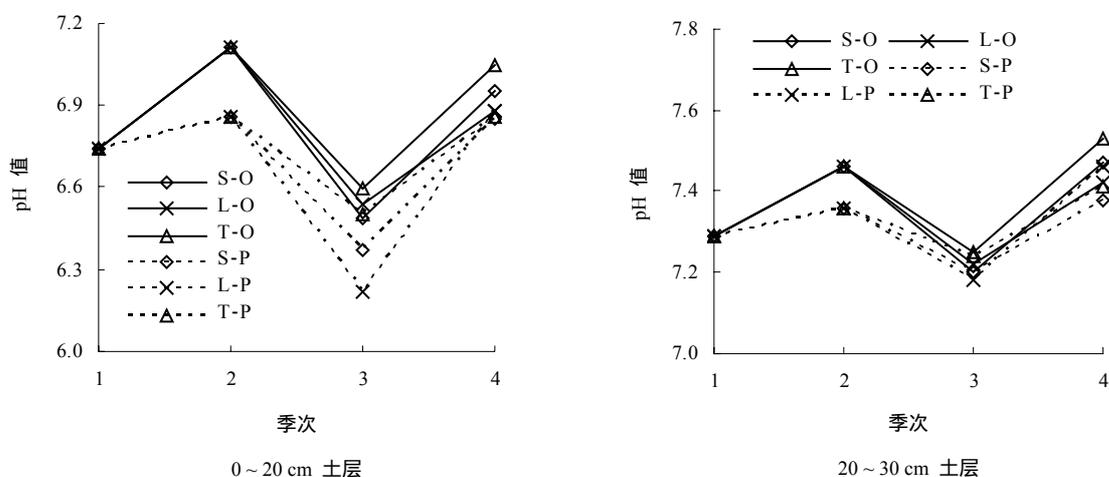


图 1 不同处理各土层土壤 pH 值变化动态

Fig. 1 Variation of pH in soil layers of fields different in treatment

在 2002 年冬季作物收获后, 土壤 pH 值有较大幅度的降低, 最低的是“多花黑麦草-杂交狼尾草”复种方式, 其次是“冬牧 70 黑麦-杂交狼尾草”复种方式, 可能和冬季牧草根分泌的大量有机酸有关<sup>[10]</sup>。到 2003 年夏季作物收获后, 土壤 pH 值有所上升, 但不同复种方式间差异不大。

20~30 cm 土层各复种方式下土壤 pH 值变化动态和 0~20 cm 土层基本一致。但不同复种方式间差异不明显, “小麦-水稻”复种方式下土壤 pH 值最大, “多花黑麦草-杂交狼尾草”复种方式下土壤 pH 值最小。

0~20 cm 土层土壤 pH 变化幅度大于 20~30 cm 土层土壤, 从变化幅度来看, 土壤 pH 为适宜作物生长的范围。土壤 pH 值随着土层加深而增大, 主要是因为肥料主要分解在 0~20 cm 土层, 作物根系也主要分布在 0~20 cm, 因此 0~20 cm 土层较 20~30 cm 土层 pH 值小。

## 2.2 土壤有机质变化动态

从图 2 可知, 0~20 cm 土层土壤有机质含量在各复种方式间变化基本相同, 即夏季作物收获后土壤有机质有所降低, 冬季作物收获后土壤有机质又增加。

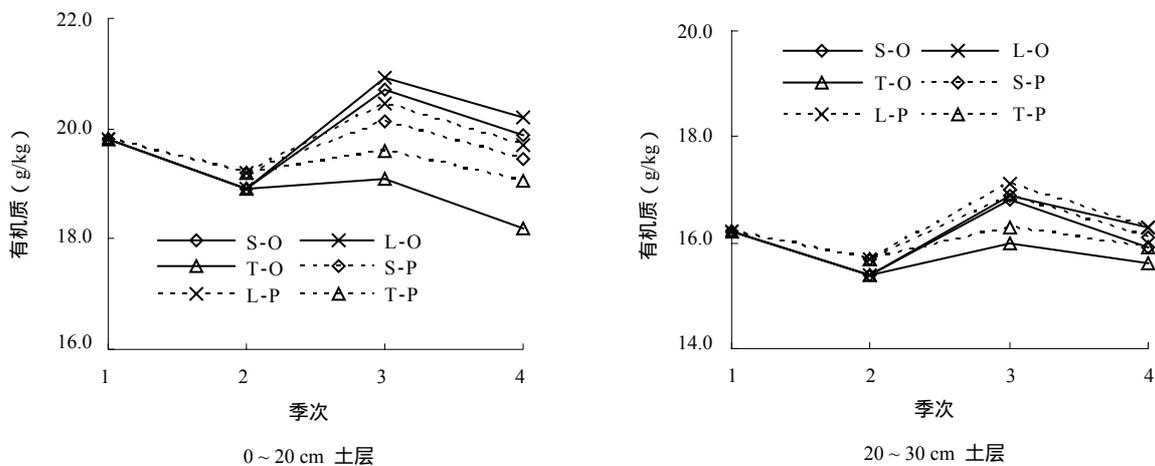


图 2 不同处理各土层土壤有机质含量变化动态

Fig. 2 Variation of organic matter in soil layers of fields different in treatment

## 2.3 土壤全 N 变化动态

从图 3 可以看出, 0~20 cm 土层土壤全 N 含量变化较大, 整体趋势是夏季作物收获后土壤全 N 含量降低, 冬季作物收获后土壤全 N 含量上升。夏季作物是水稻的复种方式在所有的季次里土壤全 N 含量较高, 因为同样条件下水田全 N 含量通常比旱地含量高。冬季作物为牧草的复种方式在冬季作物收获后, 土壤全 N 含量都有大幅度提高, 这和辛国荣等人<sup>[14]</sup>研究结果

在 2002 年冬季作物收获后土壤有机质达最高, “多花黑麦草-水稻”复种方式有机质含量最高为 20.9 g/kg, 其次是“冬牧 70 黑麦-水稻”含量为 20.7 g/kg。主要是因为牧草根系发达, 尤其是多花黑麦草, 其根系在土壤表层 (10 cm) 数量可以达到 597~1148 g/m<sup>2</sup>, 这些残留在土壤中的根系极大丰富了土壤有机质<sup>[14]</sup>。在 2003 年夏季作物收获后, 不同复种方式间土壤有机质含量降低但相互间差异不显著。

20~30 cm 土层土壤有机质含量变化动态和 0~20 cm 变化动态基本一致, 不同复种方式间土壤有机质含量差异不明显。夏季作物为杂交狼尾草的复种方式, 在 2002 年夏季和冬季作物收获后土壤有机质含量较高, 因为杂交狼尾草根较发达, 在 20~30 cm 土层也分布较多, 土壤腐殖质和作物的矿化作用使得土壤有机质增加, 而别的作物根系主要分布在 0~20 cm 土层, 20~30 cm 土层土壤中残留的根系较少。土壤有机质含量随着土层深度增加而降低, 主要是因为作物根系主要分布在 0~20 cm 土层, 20 cm 以下土层中作物根系相对较少。

一致, 可能和牧草生育期 N 肥施用较多以及与土壤微生物的活动有关, 这有待进一步研究。

20~30 cm 土层土壤全 N 含量变化趋势和 0~20 cm 土层基本一致, 而且都比 0~20 cm 土层的低, 但不同复种方式间差异较小。

随着土层的加深, 土壤全 N 下降。这和土壤有机质变化动态是一致的, 因为土壤全 N 含量一般和土壤有机质含量呈正相关。

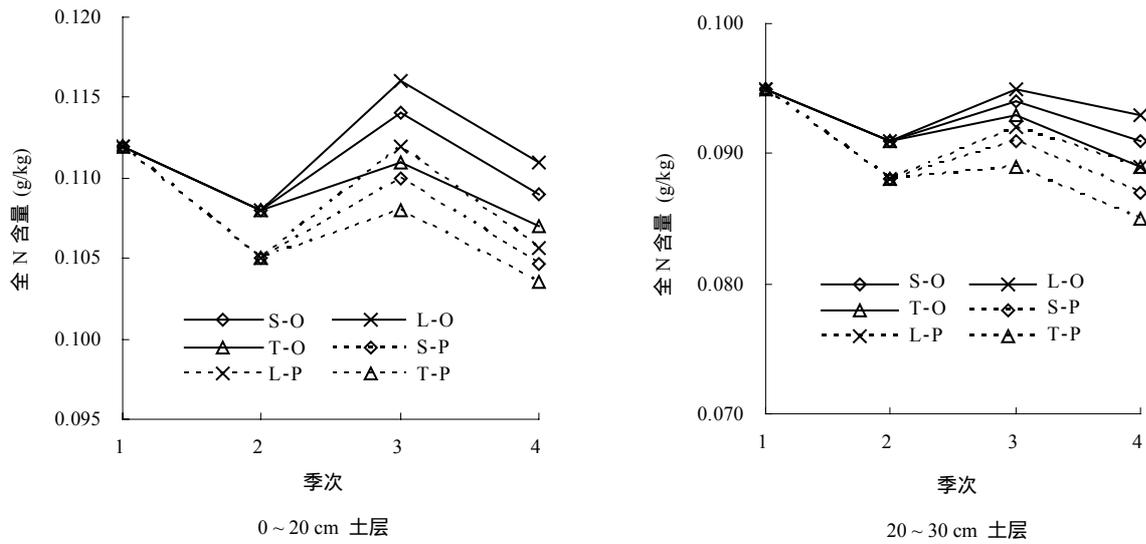


图 3 不同处理各土层土壤全 N 变化动态

Fig. 3 Variaton of total N in soil layers of fields different in treatment

2.4 土壤碱解 N 变化动态

从图 4 可以看出,不同复种方式间土壤碱解 N 含量变化动态基本一致,夏季作物收获后有所降低,冬季作物收获后有较大幅度的升高;碱解 N 含量随土层深度的增加而减少,而且 20~30 cm 土层土壤碱解 N 含量相对较稳定,变化幅度较小。在 2002 年冬季作物收获后,种植牧草土壤的碱解 N 含量有较大幅度的提高,这可能因为牧草生育期施用的 N 肥较多,而且牧草根系活动促进了 N 肥的有效化进程,此外发达的根系又在一定程度上防止了有效态 N 的渗漏。

2.5 土壤速效 P 变化动态

图 5 表明,0~20 cm 土层土壤速效 P 含量总的呈现下降趋势,但在 2002 年冬季作物收获后土壤速效 P 含量有所上升,其中种植多花黑麦草的土壤速效 P 增加最多,夏季作物为水稻的复种方式土壤速效 P 含量较夏季作物为杂交狼尾草的高。

20~30 cm 土层土壤速效 P 含量,除了“冬牧 70 黑麦-水稻”和“多花黑麦草-水稻”复种方式在 2002 年冬季作物收获后,土壤速效 P 含量增加,在 2003 年夏季作物收获后又下降,其他复种方式都一直呈现下

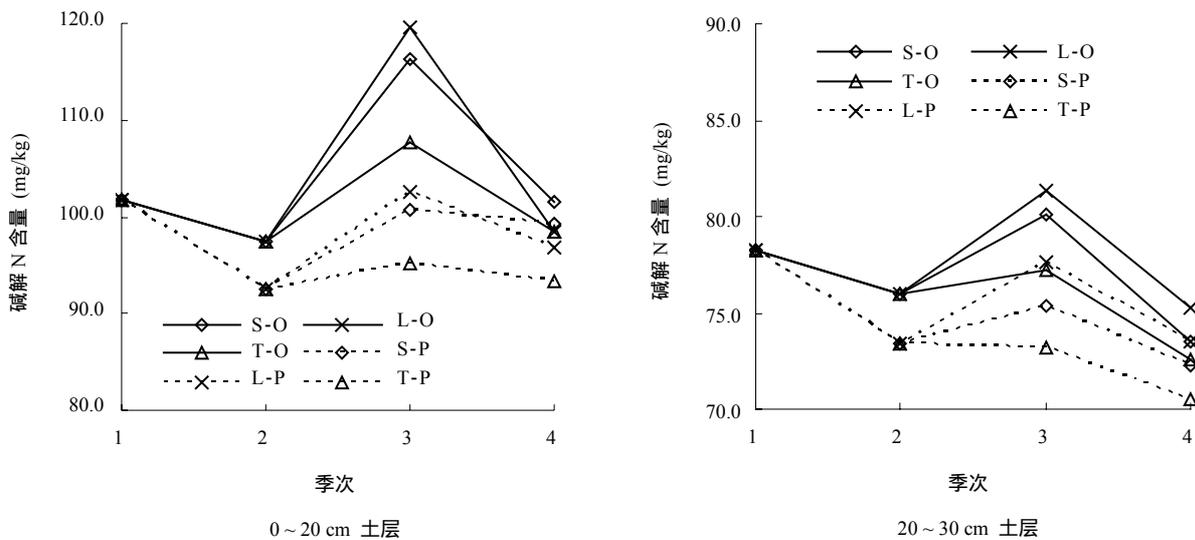


图 4 不同处理各土层土壤碱解 N 变化动态

Fig. 4 Variation of Hydrolytic N in soil layers of fields different in treatment

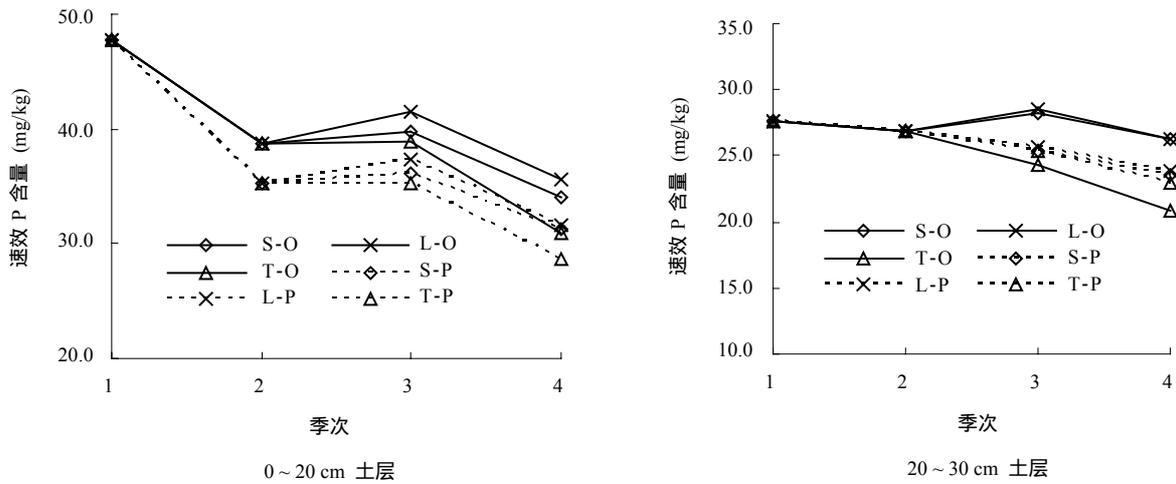


图 5 不同处理各土层土壤速效 P 变化动态

Fig. 5 Variation of available P in soil layers of fields different in treatment

降的趋势。

土壤速效 P 含量随土层深度的增加而降低。冬季种植牧草后土壤速效 P 含量有较大幅度的增加，这可能与牧草根分泌物有机酸多，土壤 pH 值较低，土壤酶活性高，促进了土壤 P 的有效化进程，其次可能和牧草地施肥较多有关。

### 2.6 土壤速效 K 变化动态

从图 6 可以看出，不同复种方式下 0~20 cm 土层土壤速效 K 含量基本呈下降趋势，冬季种植牧草的复种方式在 2002 年冬季牧草收获后，土壤速效 K 稍微有所增加，夏季作物为水稻的复种方式各季次土壤速效

K 含量都比相应的夏作为杂交狼尾草的高，“小麦-杂交狼尾草”复种方式下土壤速效 K 含量最低。可能是因为牧草根分泌物使得土壤 pH 下降，土壤微生物增加而且土壤酶活性也高，促进了土壤 K 的有效化，此外因为杂交狼尾草生物产量高，茎秆粗壮，多次刈割也可能带走较多的 K 素，从而使得冬作为牧草的复种方式土壤速效 K 含量高，而夏作为杂交狼尾草的土壤速效 K 含量较低。

20~30 cm 土层土壤速效 K 和 0~20 cm 土层变化动态一致，不同复种方式下，下层土壤速效 K 含量明显比上层土壤含量低。

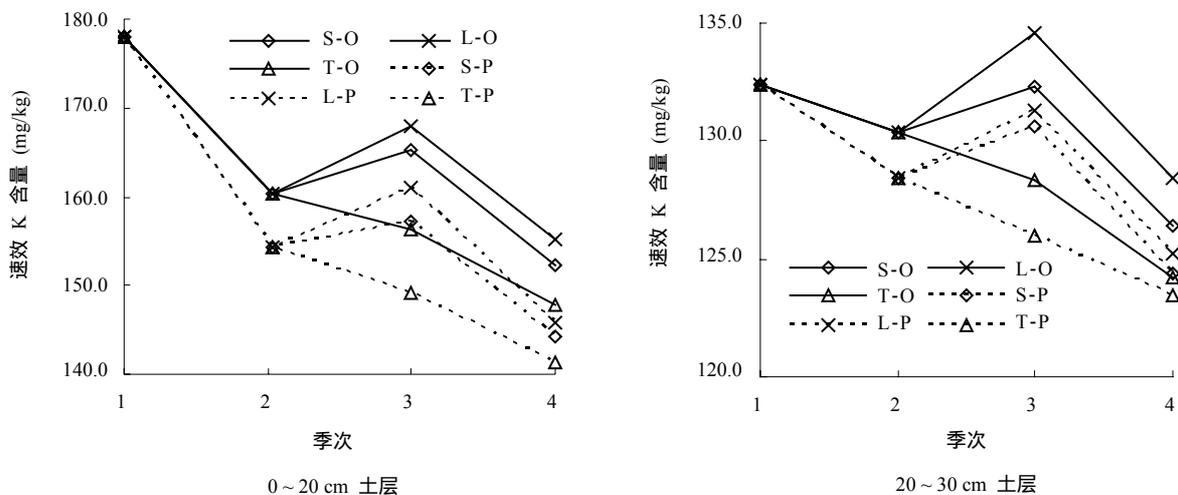


图 6 不同处理各土层土壤速效 K 变化动态

Fig. 6 Variation of exchangeable K in soil layers of fields different in treatment

### 3 小结

改传统的冬季作物小麦为牧草后,牧草茬土壤 pH 值较小麦茬高,土壤有机质和速效养分含量也较高,特别是冬季种植多花黑麦草和黑麦明显增加了土壤有机质、碱解 N、速效 K 和速效 P 含量。下层土壤 pH 值较上层土壤高,而下层土壤养分较上层土壤养分含量低。经过一个复种周期,各复种方式土壤 pH 值稍有提高,有机质、全 N、碱解 N 含量稍有降低,变化不大,土壤速效 P 和速效 K 含量有较大幅度的降低,因此,在作物生长过程中适当增施 P 肥和 K 肥,有利于补充土壤养分的过度消耗,防止土壤的贫瘠化。

#### 参考文献:

- [1] 邢廷铤. 农牧结合种植模式及其发展战略. 农业现代化研究, 1999, 20 (1): 46-49
- [2] 张卫建, 郑建初, 江海东, 冯金侠, 吴魁, 何龙兴, 李小妹, 秦君明. 稻/草-鹅农牧结合模式的综合效益及种养技术初探. 草业科学, 2001, 18(5): 17-21
- [3] 戴治平, 龚述明, 杨科祥. 改革稻田耕作制度, 提高农业生产效益. 作物研究, 2002, 16 (2): 81-82
- [4] Niu LA, Hao JM, Ding ZY, Li XB, Niu XS, Zhang BZ. Long-term fertilization effect on fertility of salt-affected soils. *Pedosphere*, 2005, 15(5): 669-675
- [5] 辛国荣, 郑政伟, 徐亚幸, 杨中艺. “黑麦草—水稻”草田轮作系统的研究 6. 冬种黑麦草期间施肥对后作水稻生产的影响. 草业学报, 2002, 11 (4): 21-27
- [6] 张华勇, 尹睿, 黄锦法, 林先贵, 曹志洪, 王俊华. 稻麦轮作田改为菜地后生化指标的变化. 土壤, 2005, 37(2): 182-186
- [7] 范钦桢, 谢建昌. 长期肥料定位试验中土壤钾素肥力的演变. 土壤学报, 2005, 42(4): 591-599
- [8] 张树生. 套种牧草对改良园地土壤的作用. 浙江万里学院学报, 2000, 13(3): 18-20, 32
- [9] 何社平, 李震钟. 渭北旱塬粮草轮作系统中根系氮、磷含量及分布规律的研究. 牧草与饲料, 1991 (1): 26-29
- [10] 辛国荣, 李雪梅, 杨中艺. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的根际效应研究: 黑麦草根际土壤性状及其对水稻幼苗生长的影响. 中山大学学报(自然科学版), 2004, 43(1): 62-66
- [11] 丁元树, 王人民, 陈锦新. 稻田年内水旱轮作对土壤微生物和速效养分的影响. 浙江农业大学学报, 1996, 22(6): 561-565
- [12] 辛国荣, 岳朝阳, 李雪梅, 杨中艺. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的根际效应 3. 黑麦草根系对土壤生物性状的影响. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(6): 94-96
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 13, 107-108, 147-148, 150-152, 180-181, 194
- [14] 辛国荣, 岳朝阳, 李雪梅, 杨中艺. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的根际效应 2. 冬种黑麦草对土壤物理化学性状的影响. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(5): 78-82

### Variation of Soil Nutrients under Different Forage Grain Multi-Cropping Patterns

ZHU Lian-feng<sup>1,2</sup>, JIANG Hai-dong<sup>2</sup>, JIN Qian-yu<sup>1</sup>, YU Sheng-miao<sup>1</sup>, OUYANG You-nan<sup>1</sup>, CAO Wei-xing<sup>2</sup>

(1 State Key Laboratory for Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China;

2 Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Seasonal variations of soil fertility of fields under six forage grain multi-cropping patterns, respectively, were studied. Results showed that cultivation of forage crops, especially ryegrass and rye, in winter improved soil properties over cultivation of grain crops by lower soil pH and increasing contents of organic matter and available nutrients, which contributed to growth and possibly yield of the crop to follow. Soil pH increased but soil nutrients decreased with depth of the soil profile. After a cycle of the multi-cropping cultivation, soil pH increased slightly, but organic matter, total N, and available N decreased a bit, and available P and K dropped by a large margin.

**Key words:** Soil, Multi-cropping patterns, Organic matter, Available nutrient