

不同利用类型土地改为耕地后土壤养分的变化

何丽婷^{1,2}, 郭太堂^{1,2}, 武睿^{1,2}, 余杰^{1,2},
彭思华^{1,2}, 杨恒^{1,2}, 侯文刚^{1,2}, 范佳帅^{1,2}, 陈超^{1,2}

(1. 中国地质调查局昆明自然资源综合调查中心, 云南昆明 650100;
2. 自然资源部自然生态系统碳汇工程技术创新中心, 云南昆明 650100)

摘要: [目的] 明确不同利用类型土地改为耕地后对土壤养分的影响, 为新增耕地土壤养分状况的改善提供理论依据。[方法] 以云南省富宁县不同利用类型土地(农村宅基地、灌木林地、乔木林地、殡葬用地、其他草地)改为的新增耕地为样地, 以旱地为对照, 进行作物种植试验, 种植作物为玉米惠民 380。试验期间样地统一管理, 通过测定土壤氮、磷、钾、有机质、pH 值, 探明不同利用类型土地改为耕地后对土壤养分的影响。[结果] 富宁县新增耕地表层土壤的全氮含量为 548~1 251.83 mg/kg, 有效磷含量为 0.46~6.67 mg/kg, 速效钾含量为 97.67~209.33 mg/kg, 有机质含量为 8.14~26.83 g/kg, pH 值介于 4.6~7.7; 不同利用类型土地改为新增耕地的土壤养分差异显著($p < 0.05$), 农村宅基地改为耕地的土壤全氮、有机质含量最高, 属于中性土壤; 灌木林地改为耕地的土壤速效钾含量最高, 草地改为耕地的土壤各个养分指标均为最低值。研究区旱地对照土壤综合肥力指数较高($IFI = 0.73 > 0.5$), 新增耕地土壤综合肥力指数偏低(IFI 均值 = 0.382 < 0.5), 土壤 pH 值是该区的土壤养分制约因子, 新增耕地土壤存在氮、磷、有机质 3 类养分的缺乏, 尤其土壤有效磷含量仅为旱地对照的 0.7%~9.7%。[结论] 新增耕地土壤整体养分含量偏低, 土壤全氮、有效磷、有机质含量均显著低于旱地对照; 不同利用类型土地改为耕地后的土壤养分状况差异显著, 草地改为耕地的土壤各个养分指标最低; 改善土壤酸碱度、提高有效磷含量是新增耕地土壤养分状况改善的关键, 有机肥配施磷肥的方式是改善研究区新增耕地养分状况的有效措施。

关键词: 新增耕地; 用地类型; 土壤养分; 云南省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2026)01-0106-09

中图分类号: S151.9, S158

文献参数: 何丽婷, 郭太堂, 武睿, 等. 不同利用类型土地改为耕地后土壤养分的变化[J]. 水土保持通报, 2026, 46(1): 106-114. He Liting, Guo Taitang, Wu Rui, et al. Soil nutrient change of different land use types after being converted into cultivated land [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(1): 106-114.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2026.01.003

CSTR: 32312.14.stbctb.2026.01.003

Soil nutrient change of different land use types after being converted into cultivated land

He Liting^{1,2}, Guo Taitang^{1,2}, Wu Rui^{1,2}, Yu Jie^{1,2},
Peng Sihua^{1,2}, Yang Heng^{1,2}, Hou Wengang^{1,2}, Fan Jiashuai^{1,2}, Chen Chao^{1,2}

(1. Kunming Center of Comprehensive Natural Resources Survey, China Geological Survey, Kunming, Yunnan 650100, China; 2. Technology Innovation Center for Natural Ecosystem Carbon Sink, Ministry of Natural Resources, Kunming, Yunnan 650100, China)

Abstract: [Objective] The effects of different types of land being converted into cultivated land on soil nutrients were analyzed, in order to provide the theoretical basis for the improvement of soil nutrient status of newly cultivated land. [Methods] Taking the newly added cultivated land turned from different types of land (rural homesteads, shrub woodland, arbor woodland, funeral land, and other grasslands) in Funing County as a sample land, and dryland as the control, a crop planting experiment was carried out, the planting crop was Huimin 380 corn, and the sample plots were uniformly managed during the experiment. By measuring the soil nitrogen,

收稿日期: 2025-04-29

修回日期: 2025-09-16

采用日期: 2025-09-16

资助项目: 全国国土变更调查国家级外业核查项目(昆明中心)(DD20230526); 昆明中心科技创新课题([2023]10-2303-01)

第一作者: 何丽婷(1996—), 女(汉族), 云南省保山市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤与生物多样性保护。Email: 2252683854@qq.com。

通信作者: 陈超(1992—), 男(汉族), 云南省宣威市人, 本科, 工程师, 主要从事土地资源规划与利益等方面的研究。Email: 2637851138@qq.com。

phosphorus, potassium, organic matter and pH value of cultivated land, to investigate the impact of different types of land being converted into cultivated land on soil nutrients. [Results] The total nitrogen content of the soil was 548—1251.83 mg/kg, the available phosphorus content was 0.46—6.67 mg/kg, respectively. the available potassium content was 97.67—209.33 mg/kg, the organic matter content was 8.14—26.83 g/kg, and the pH value was 4.6—7.7. There were significant differences in soil nutrients between different use types of land converted to new cultivated land ($p < 0.05$). The total nitrogen and organic matter content of cultivated land converted from rural homesteads was the highest, and it belonged to neutral soil. The available potassium content of cultivated land converted from shrub was the highest, and the nutrient indexes of soil of new cultivated land converted from grassland was the lowest. The comprehensive soil fertility index (IFI) of the dryland control in the study area was higher (IFI=0.73 > 0.5), and the soil comprehensive fertility index of the newly added cultivated land was low (mean IFI=0.382 < 0.5). Soil pH value was a limiting factor of soil fertility in the study area. There was a deficiency of nitrogen, phosphorus and organic matter in the newly cultivated soil, especially the soil available phosphorus content was only 0.7%~9.7% of that of dryland control. [Conclusion] The overall nutrient content of the newly added cultivated land was low, and the contents of total nitrogen, available phosphorus and organic matter were significantly lower than those of the dryland control. There were significant differences in soil nutrients between different use types of land converted to new cultivated land, and the nutrient indexes of new cultivated land converted from grassland was the lowest. Improving soil pH value and available phosphorus content are the keys to improving the soil quality of newly added cultivated land. The method of organic fertilizer combined with phosphorus fertilizer is a feasible strategy to improve the nutrient status of new cultivated land in the study area.

Keywords: newly cultivated land; land type; soil nutrients; Yunnan Province

土地是最基本的农业生产资料,是人类赖以生存的物质基础^[1],但中国土地资源数量有限^[2],总体质量不高^[3],进行土地整治可以缓解耕地资源紧缺问题^[4]。土地整理、复垦为新增耕地是保障耕地的重要手段^[5-6],但新增耕地普遍存在养分状况差、肥力低的问题。蒋红丽等^[7]进行岐山县新增耕地土壤养分现状分析,发现新增耕地土壤中有有机质、氮、磷和钾含量均处于中低水平。胡一等^[8]对旱塬新增耕地进行研究时也发现土壤有机质含量偏低、养分贫乏,耕地质量评级较低。由于新增耕地普遍存在土壤肥力低、结构性较差等问题^[8],现有研究多聚焦于新增耕地土壤养分状况评价和改善土壤养分状况等方面^[9]。但不同利用类型土地改为耕地时,土地利用类型和土地整治方式都会对新增耕地土壤结构、理化性质甚至土壤微生物群落产生影响^[10],进行新增耕地土壤养分状况改善时不能简单地一概而论^[11]。王悦颖等^[12]发现土地开发整理项目和工矿复垦项目对新增耕地土壤含水量、田间持水量和毛管孔隙度等都产生影响。朱奕豪等^[13]进行不同土地整治类型新增耕地土壤研究时则发现,土地整治类型影响土壤微生物数量、多样性及群落组成。目前关于土地整治方式对新增耕地土壤养分状况的影响已有一定研究,但是相同土地整治方式下,不同利用类型土地改为新增耕地后土壤养分的差异研究还较为缺乏。不同用地类型的土壤养分状况存在差异^[14],这些差异在

转变为耕地后是否会影响新增耕地的土壤养分状况。明晰土地利用类型对新增耕地土壤养分的影响,可更有针对性地指导新增耕地土壤养分状况改善。通过云南省富宁县耕地整改复垦项目的新增耕地样地采样测定,分析不同用地类型改为的新增耕地土壤氮、磷、钾、有机质、pH值等养分指标的影响。探明不同利用类型土地改为耕地后对土壤养分的影响,为新增耕地土壤养分状况改善提供科学参考。

1 材料和方法

1.1 研究区概况及样地设置

研究区域位于云南省富宁县,地处滇东南岩溶区东部边缘(23°11'—24°09'N,105°13'—106°12'E),主要土壤类型为赤红壤,气候类型为亚热带季风气候,雨热同季,干湿分明,年平均气温 15.6℃,年平均降水量达 1 212.2 mm,生长期年平均 339 d,无霜期年平均 326 d,最长 357 d。根据富宁县的复垦新增耕地项目计划,试验样地选择为富宁县石漠化区不同用地类型土地(灌木林地、农村宅基地、乔木林地、殡葬用地、其他草地)复垦的新增耕地,以当地固有耕地(用地类型为旱地的典型耕地,已种植 7 a)为对照,进行一季的作物种植试验(2023年4月11—13日完成播种,8月8—9日完成采收,采收完成后进行土壤采样),样地种植相同的供试作物玉米惠民 380,试验期间样地统一管理。样地信息详见表 1。

表 1 样地基本信息

Table 1 Basic information of sample plot

样地号	用地类型	土壤类型	地理位置	面积/m ²	开垦方式
Y ₁	旱地	赤红壤	23°28'N, 105°18'E	13 010.3	固有耕地
Y ₂	灌木林地	赤红壤	23°26'N, 105°17'E	3 961.3	清除地上植被后翻耕
Y ₃	农村宅基地	赤红壤	23°30'N, 105°18'E	1 366.5	清除地上水泥硬化后翻耕
Y ₄	乔木林地	赤红壤	23°30'N, 105°17'E	18 534.5	清除地上植被后翻耕
Y ₅	殡葬用地	赤红壤	23°27'N, 105°17'E	5 206.6	清除地上水泥硬化后翻耕
Y ₆	其他草地	赤红壤	23°29'N, 105°17'E	2 714.9	清除地上植被后翻耕

1.2 样品采集和指标测定

土样的采集使用五点分层取样法,每个样地内选择 5 个小样点(4 个角及中心点,样点距离大于 30 m),每个样点分层采集 0—20 cm(耕作层),20—40 cm 两个土层的土壤样品,6 个样地共采集土壤样品 60 份。土样去除杂质后带回实验室自然风干,进行 pH 值、有机质含量、全氮含量、有效磷含量和速效钾含量等养分指标的测定。pH 值采用离子选择电极法,通过酸度计(JD-019)测定。土壤的全氮含量测定采用凯氏法、有效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法、速效钾含量采用 1 mol/L NH₄OAc 浸提火焰光度法,有机质测定采用重铬酸钾氧化法^[15]。

1.3 土壤综合肥力指数 IFI 计算

以土壤全氮、有效磷、速效钾、有机质、pH 值作为参评指标来综合衡量土壤肥力状况,根据各土壤肥力评价指标的权重和隶属度计算土壤综合肥力指数 (IFI),IFI 取值范围为 0~1,其值越接近 1,表明土壤肥力越高^[14]。计算公式为

$$IFI = \sum_{i=1}^n \omega_i f_i \quad (1)$$

式中: n 为参评指标数; ω_i 为第 i 个指标的权重; f_i 为第 i 个指标的隶属度。

由于各指标对土壤整体质量的贡献不一致,需对各项指标赋予一定的权重^[16]。采用避免人为为主观影响的相关系数法^[17]确定各评价指标的权重,计算公式为

$$\omega_i = x_i / \sum x_i \quad (2)$$

式中: ω_i 为某项指标的权重; x_i 为某项指标与其他指标之间相关系数的平均值; $\sum x_i$ 为所有指标相关系数平均值总和。

由于各评价指标对土壤整体质量的影响不同且量纲也存在差异,需对各指标进行一定的数学处理^[16]。采用 S 型隶属函数公式^[18],各评价指标的最小值和最大值作为函数的转折点 x_1, x_2 ,取值参考第二次全国土壤普查标准;pH 值的隶属度参考前人^[19-20]研究由经验法得出。

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x \leq x_1) \\ 0.1 + \frac{0.9(x - x_1)}{x_2 - x_1} & (x_1 < x < x_2) \\ 1.0 & (x \geq x_2) \end{cases} \quad (3)$$

1.4 土壤肥力评价

以土壤综合肥力指数 IFI 进行土壤整体肥力的分级评价,以 IFI 值为依据,将研究区肥力划分为 4 个等级,IFI > 0.7 为 I 级,0.5~0.7 为 II 级,0.3~0.5 为 III 级,IFI < 0.3 为 IV 级^[14];以土壤全氮、有效磷、速效钾、有机质和 pH 值进行土壤养分分级评价,养分分级参考全国第二次土壤普查养分分级标准。

1.5 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 软件统计与处理数据并且绘制雷达图 and 对比条形图;采用 SPSS 软件对试验数据进行方差分析($p < 0.05$)和皮尔逊相关性分析。

2 结果和分析

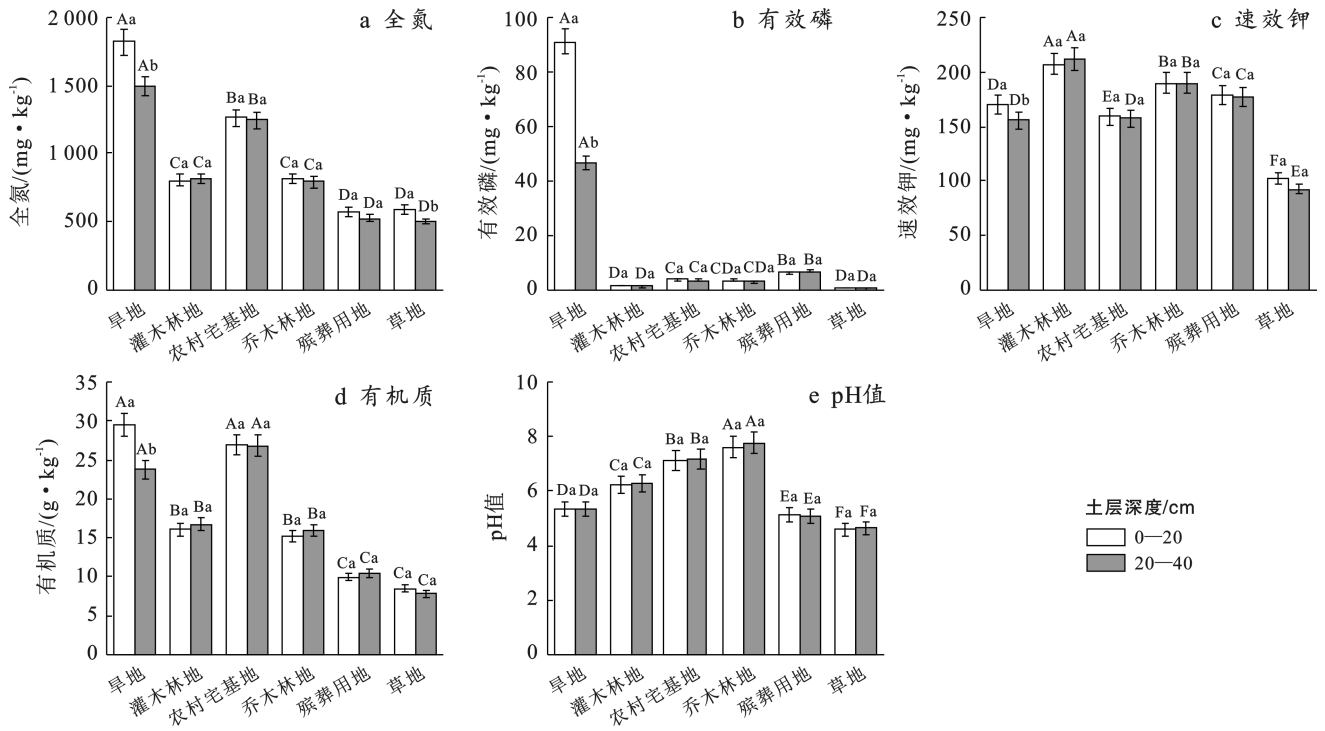
2.1 不同用地类型及耕作对耕地土壤养分状况的影响

不同用地类型对耕地土壤养分状况有不同的影响(图 1)。新增耕地中,农村宅基地改的耕地土壤全氮含量最高为 1 251.83 mg/kg,是灌木林地和乔木林地改为新增耕地后含量的 1.5 倍,是殡葬用地和其他草地改为含量的 2.3 倍。殡葬用地改的耕地土壤有效磷含量最高为 6.67 mg/kg,是农村宅基地和乔木林地改为含量的 1.8 和 2 倍,是灌木林地改为含量的 4.5 倍,是其他草地改为含量的 14.5 倍。灌木林地改的耕地土壤速效钾含量最高为 209.33 mg/kg,分别是农村宅基地、乔木林地、殡葬用地改为含量的 1.3, 1.1 和 1.2 倍,是其他草地改为含量的 2.1 倍。农村宅基地改的耕地土壤有机质含量最高为 26.89 g/kg,是灌木林地和乔木林地改为含量的 1.6 和 1.7 倍,是殡葬用地和其他草地改为含量的 2.6 和 3.3 倍。乔木林地改的土壤 pH 值最高为 7.7,其他草地改的土壤 pH 值最低为 4.6,旱地对照土壤 pH 值为

6.3. 农村宅基地改为的新增耕地土壤养分状况较优, 而草地改为的新增耕地土壤各个养分状况均较差。

耕地 0—20 cm(耕作层), 20—40 cm 土壤养分状况差异如图 1 所示。旱地对照 0—20 cm(耕作层)与 20—40 cm 土壤在土壤氮、有效磷、速效钾、有机质含量上均存在显著差异, 长期的耕作活动对旱地土壤养分状况产生显著影响; 不同用地类型改为的新增

耕地 0—20 cm(耕作层)与 20—40 cm 土壤养分状况整体上不存在显著差异, 仅草地改为的新增耕地土壤氮、速效钾含量差异达到显著水平, 这可能与此类新增耕地的低土壤氮、速效钾含量有关; 旱地与新增耕地 0—20 cm(耕作层)与 20—40 cm 土壤 pH 值均不存在显著差异。新增耕地的短期耕作并没有对土壤养分状况产生显著影响。



注: 不同的大写字母表示相同深度土层不同用地类型的差异显著 ($p < 0.05$); 不同的小写字母表示相同用地类型不同深度土层的差异显著 ($p < 0.05$)。

图 1 不同用地类型改为耕地后两个土层土壤的养分状况

Fig.1 Nutrients at two soil layers of different land use types after being converted into cultivated land

2.2 土壤养分指标之间的相关性

土壤养分指标相关性分析结果详见表 2。由表 2 可知, 土壤全氮含量与有效磷含量相关系数 0.802, 与有机质含量相关系数 0.920, 均呈极显著正相关 ($p < 0.01$); 土壤有效磷含量与土壤有机质含量呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 相关系数 0.564; 土壤有效磷含量与土壤 pH 值呈显著负相关 ($p < 0.05$), 相关系数 -0.271; 土壤 pH 值与土壤速效钾含量相关系数 0.464, 与有机质含量相关系数 0.407, 均呈极显著正相关 ($p < 0.01$)。

2.3 新增耕地土壤肥力评价

从表 3 可以看出, 研究区土壤 IFI 值在 0.24~0.78, 旱地对照 IFI 值为 0.78, 根据研究区土壤肥力特征和 IFI 值肥力划分等级, 旱地对照肥力水平为优, 肥力等级为 1 级, 肥力水平和肥力等级明显优于新增耕地。不同用地类型改为的新增耕地中, 农村宅基

地改为的新增耕地 IFI 值最高为 0.54, 肥力水平为良好, 肥力等级为 2 级; 其他草地改为的新增耕地 IFI 值最低为 0.24, 肥力水平为差, 肥力等级为 4 级。

表 2 土壤养分指标之间的皮尔逊相关性

Table 2 Pearson correlation among soil nutrient indicators

指标	氮	有效磷	速效钾	有机质	pH 值
氮	1				
有效磷	0.802**	1			
速效钾	-0.049	-0.123	1		
有机质	0.920**	0.564**	0.067	1	
pH 值	0.155	-0.271*	0.464**	0.407**	1

注: **表示在 0.01 水平上显著相关; *表示在 0.05 水平上显著相关。

图 2 为利用研究区的旱地对照和新增耕地各项土壤养分状况评价指标对应的平均隶属度值绘制的雷达图, 反映了各项评价指标的状态和研究区的整

体土壤肥力水平。从旱地对照(图 2a)各指标在坐标轴上的位置看,pH值的平均隶属度值最小,约为0.17,其次为有机质,平均值约为0.19,说明pH值、有机质是本研究区旱地对照土壤养分的限制因子。从新增耕地(图 2b)各指标在坐标轴上的位置看,pH值的平均隶属度值最小,约为0.16,其次为速效钾,平均值约为0.19,说明pH值、速效钾是本研究区新增耕地土壤养分的限制因子。从总体上看,旱地对照各项评价指标隶属度更均匀,限制因子对土壤养分影响较小,新增耕地限制因子对土壤养分影响更明显。

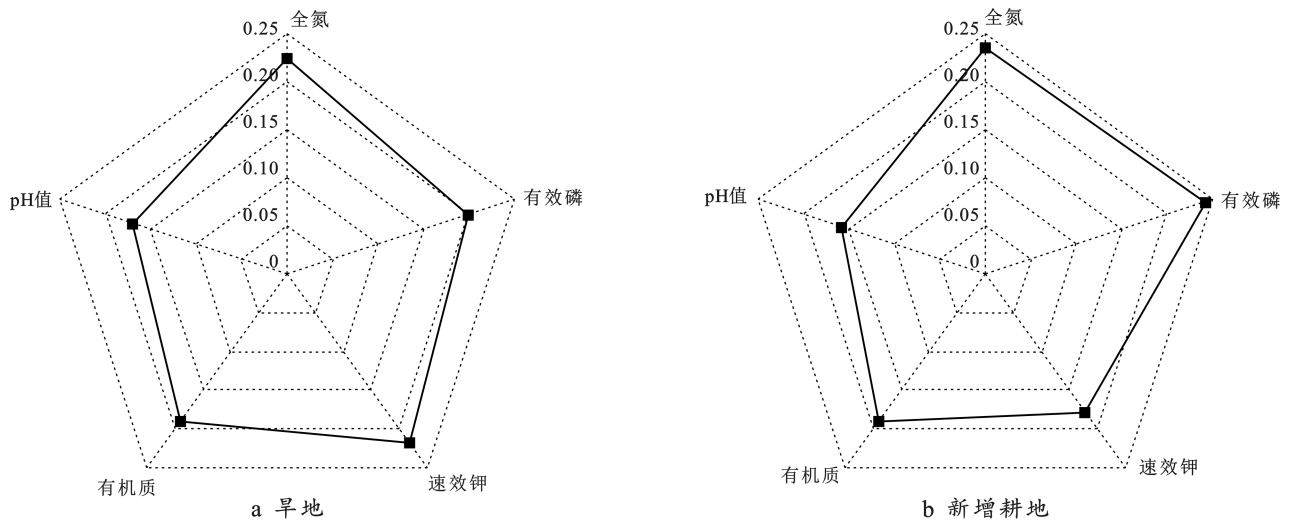


图 2 各项土壤养分评价指标隶属度均值雷达图

Fig.2 Radar plot of mean membership degree of various soil nutrient evaluation indicators

研究区的旱地对照和不同用地类型改为的新增耕地的各个土壤养分含量和分级结果如表 4 所示。由表 4 可知,富宁县新增耕地表层土壤的全氮含量均值为 792.5 mg/kg,有效磷含量均值为 3.14 mg/kg,速效钾含量均值为 166.67 mg/kg,有机质含量均值为 15.46 g/kg, pH 值均值 6.2;旱地对照表层土壤的全氮含量为 1 656 mg/kg,有效磷含量为 69.05 mg/kg,速效钾含量为 163 mg/kg,有机质含量为 26.65 g/kg, pH 值为 5.3;新增耕地土壤全氮、有效磷、有机质含量均低于旱地对照,而土壤速效钾含量接近旱地对照,土壤 pH 值优于旱地对照。

灌木和乔木林地改为的新增耕地土壤有效磷含量 1.5 和 3.3 mg/kg,分级结果分别为 6 级(很低)和 5 级(低),仅为旱地对照土壤含量的 2.1% 和 4.8%;全氮和有机质含量接近,都为 4 级(中);速效钾含量都较高,灌木和乔木林地改为新增耕地 AK 含量分别为 209.3 和 189.7 mg/kg,为 1 级(极高)和 2 级(很高),分别是旱地对照含量的 1.3 和 1.2 倍;土壤 pH 值分别为 6.3, 7.7, 属于弱酸性土和弱碱性土。农村宅

表 3 不同流入地类的新增耕地土壤肥力等级划分
Table 3 Classification of soil integrated fertility index (IFI) of newly added cultivated land of different types of inflow land

样地编号	流入地类	IFI	肥力水平	肥力等级
Y ₁	旱地	0.73	优	1
Y ₂	灌木林地	0.36	中等	3
Y ₃	农村宅基地	0.54	良好	2
Y ₄	乔木林地	0.44	中等	3
Y ₅	殡葬用地	0.33	中等	3
Y ₆	其他草地	0.24	差	4

基地改为的新增耕地土壤有效磷含量 3.8 mg/kg,为 5 级(低),仅为旱地对照土壤含量的 5.4%;全氮含量 811.2 mg/kg,为 3 级(高),为旱地对照土壤含量的 75.6%;速效钾和有机质含量与旱地对照接近,分级结果也相同为 2 级(很高);土壤 pH 值为 7.1,属于中性土。殡葬用地改为的新增耕地土壤有效磷含量 6.7 mg/kg,为 4 级(中),为旱地对照土壤含量的 9.7%;全氮含量 548 mg/kg,为 5 级(很低),为旱地对照土壤含量的 33.1%;有机质含量 10.2 g/kg,为 4 级(中),为旱地对照土壤含量的 38.2%;速效钾与旱地对照接近,分级结果相同为 2 级(很高);土壤 pH 值为 5.1,属于酸性土。其他草地改为的新增耕地土壤有效磷含量 0.46 mg/kg,为 6 级(很低),为旱地对照土壤含量的 0.7%;全氮和有机质含量 548.2 和 8.1 g/kg,均为 5 级(很低),分别为旱地对照土壤含量的 33.1% 和 30.6%;速效钾含量 97.7 mg/kg,为 4 级(中);土壤 pH 值为 4.6,属于酸性土。对比旱地对照土壤肥力水平,所有新增耕地全氮、有效磷含量明显低于旱地对照,存在极为明显的氮、磷的缺乏。

表 4 新增耕地土壤养分指标分级结果

Table 4 Classification results of soil nutrient indicators for newly added cultivated land

流入地类	全氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH 值
灌木林地	811.20(4级)	1.50(6级)	209.30(1级)	16.40(4级)	6.3(弱酸性)
农村宅基地	1 251.80(3级)	3.80(5级)	158.50(2级)	26.90(3级)	7.1(中性)
乔木林地	803.30(4级)	3.30(5级)	189.70(2级)	15.70(4级)	7.7(弱碱性)
殡葬用地	548.00(5级)	6.70(4级)	178.20(2级)	10.20(4级)	5.1(酸性)
其他草地	548.20(5级)	0.46(6级)	97.70(4级)	8.10(5级)	4.6(酸性)
新增耕地均值	792.50	3.14	166.67	15.46	6.2
旱地	1 656.00(2级)	69.05(1级)	163.00(2级)	26.65(3级)	5.3(酸性)

注:将土壤养分分级为 1 级(极高)、2 级(很高)、3 级(高)、4 级(中)、5 级(很低)、6 级(很低)。

3 讨论

3.1 不同用地类型改为新增耕地后土壤养分状况差异

土地整治、复垦为新增耕地是保障耕地的重要手段^[5],但新增耕地普遍存在养分贫乏,耕地质量较低的问题^[8]。蒋红丽等^[7]对岐山县新增耕地土壤的养分现状分析和胡一等^[8]对旱塬新增耕地的研究结果都说明了这一点。本研究结果基本与此一致,新增耕地土壤肥力水平较差,肥力等级较低,土壤全氮、有效磷、有机质含量均明显低于旱地对照,存在明显的养分缺乏。在土壤速效钾含量上,新增耕地土壤处于中等偏高水平,接近甚至高于旱地对照;在土壤 pH 值上,旱地对照属于酸性土壤,新增耕地属于弱酸性土壤。中国南方红黄壤地区土壤整体为酸性^[21],氮肥等无机化肥的使用可能是加深土壤酸化程度的重要影响因素^[21]。研究区土壤类型为赤红壤,长期耕作施肥的影响可能是旱地对照土壤高养分含量和低 pH 酸性土壤环境的重要原因^[22]。

不同用地类型的土壤养分常存在差异^[18-19],不同用地类型土地在被整治复垦为新增耕地后,这些差异同样会影响新增耕地土壤养分状况。本研究结果表明,不同用地类型改为的新增耕地土壤养分状况差异显著($p < 0.05$)。在土壤全氮、有机质含量上,农村宅基地 > 乔木林地、灌木林地 > 草地、殡葬用地改为的耕地,农村宅基地改为的土壤全氮、有机质含量最高,草地、殡葬用地改为的土壤氮、有机质含量最低。动植物残体、动物排泄物及生活污水都是土壤中氮、有机质的重要来源^[23],农村宅基地改为的新增耕地土壤较高的全氮、有机质含量可能来源于此。植物根系分泌物、凋落物以及生物固氮作用同样是土壤氮、有机质的重要来源^[23],乔木、灌木林地等高植被覆盖地类改为的新增耕地土壤全氮、有机质可能来源于此。在土壤有效磷含量上,殡葬用地改为

的耕地含量最高 6.67 mg/kg,而其他地类型改为的含量仅 0.46~1.47 mg/kg,可能是因为殡葬用地的特殊性,骨骼中的磷对土壤中较低含量的有效磷进行了补充。在土壤速效钾含量上,灌木林地 > 乔木林地 > 殡葬用地 > 农村宅基地 > 草地改为的耕地,林地改为的新增耕地含量显著高于其他新增耕地,林地大量的植物枯落物分解返还可能是造成这一结果的原因^[24]。在土壤 pH 值上,表现为:乔木林地 > 农村宅基地 > 灌木林地 > 其他草地 > 殡葬用地改为的耕地,农村宅基地改为的新增耕地土壤属于中性(pH=6.5~7.5),灌木林地改为的属于弱酸性土(pH=5.5~6.5);乔木林地改为的属于弱碱性土(pH=7.5~8.5);殡葬用地和其他草地改为的土壤属于酸性土(pH=4.5~5.5)。土壤 pH 受土地利用方式的影响,林地等高植被覆盖的土地利用类型酸化程度低,甚至出现轻微的碱化,可能与林地植物保持水土减少降雨造成的盐基离子淋失有关^[25]。同时,进行 0—20 cm(耕作层)与 20—40 cm 土壤养分状况差异对比发现,新增耕地的短期耕作并没有对土壤产生显著影响,此时新增耕地的土壤养分状况差异主要来自原本的用地类型,不同用地类型对整治复垦后的新增耕地土壤养分状况产生显著影响。

3.2 土壤养分指标之间的相关性

对研究区土壤养分指标进行相关性分析发现,土壤养分指标之间呈现不同程度的相关性。土壤有机质含量与其他养分指标呈不同程度的正相关,尤其与全氮(0.920)、有效磷(0.564)为极显著正相关($p < 0.01$),此结果与目前大多数研究结论一致^[26]。有机质是土壤养分的重要组成部分,主要来源于动植物残体、动物排泄物分泌物等,在土壤中经过微生物的分解转化,释放出包括氮、磷等各种营养元素。研究结果中土壤全氮含量与有效磷含量的极显著正相关系数(0.802)也说明其来源和含量的高度同步性。土壤 pH 值与有效磷含量呈显著负相关关系

(-0.271),酸性土壤中低pH值可以促进土壤中磷的溶解从而增加磷的有效性^[27],研究区土壤类型为南方赤红壤属于酸性土壤,较低的pH值促进土壤累积磷转化为有效磷而导致土壤pH值与有效磷含量的负相关关系。土壤pH值与土壤速效钾(0.464)、有机质(0.407)含量呈极显著正相关($p < 0.01$),土壤pH值影响土壤养分有效性、化合形态以及土壤中微生物多样性和丰度,低土壤pH值会在降低土壤养分的同时对种植作物直接造成酸胁迫而影响作物生长^[28]。

研究区为赤红壤,属于中国南方酸性红黄壤区,酸化是该区域普遍存在的土壤问题,氮肥等无机化肥的使用可能是加深土壤酸化程度的重要影响因素^[26],本研究中旱地对照属于酸性土壤而乔木林地和农村宅基地改为的新增耕地土壤属于弱碱性和中性的研究结果也说明了这一点,长期耕作和氮肥等化肥的使用带来了土壤的高养分含量和低pH酸性土壤环境。南方红壤多酸性、黏性强、易板结,该土壤类型下有机肥表现普遍优于化肥^[20-21],有机质经过微生物的分解释放出包括氮、磷等各种营养元素,可以在减缓土壤酸化的同时提升土壤的酸缓冲能力,改善土壤团聚体结构^[21],降低土壤pH值对作物产量的不利影响^[27]。本研究中土壤有机质含量与全氮、有效磷含量的极显著正相关关系也说明了有机质与全氮、有效磷含量有的高度同步性,施用有机肥是保障南方红壤区耕地质量的有效举措。

3.3 新增耕地土壤肥力评价

根据土壤综合肥力指数IFI的等级划分,研究区旱地对照的土壤肥力属于中上水平($IFI = 0.73 > 0.5$),而新增耕地土壤肥力较差(IFI 均值 $= 0.382 < 0.5$),与目前新增耕地土壤肥力研究结果一致^[29]。根据土壤肥力评价指标平均隶属度雷达图结果,研究区旱地和新增耕地土壤养分状况的制约因子主要是pH值。土壤pH值影响土壤养分有效性、化合形态^[28],通过影响土壤养分功能的发挥而降低土壤肥力,也会直接通过酸胁迫而影响作物生长。研究区属于我国南方酸性红黄壤区,酸化是该区域普遍存在的土壤问题,研究区土壤的养分指标评价分级结果中土壤pH值评级也说明了这一点。

研究区新增耕地养分指标评价分级结果显示,不同用地类型改为的新增耕地均存在严重的磷缺乏问题,新增耕地土壤有效磷含量 $0.46 \sim 6.7$ mg/kg,评级结果最高为4级(中),最低为6级(很低),远低于旱地对照的69.1 mg/kg;除农村宅基地改为的耕地外,其他新增耕地还存在全氮和有机质含量低评级差的情况。所以该地区的新增耕地,首先应注意对

土壤磷元素的补充,其次是对除农村宅基地改为的耕地外其他新增耕地土壤全氮和有机质的补充。同时,草地改为的耕地土壤速效钾含量偏低(97.7 mg/kg),评级结果为4级(中),在后续耕作中应该进行钾元素针对性的补充。有机质经过微生物的分解释放出包括氮、磷等各种营养元素同时降低土壤pH值对作物产量的不利影响^[27],施用有机肥可以保证土壤营养元素含量而不会加剧土壤酸化,是保障南方红壤区耕地质量的有效举措。但是由于有机肥肥效较慢并且新增耕地土壤普遍低肥力的现状,化肥可保证新增耕地前期耕作的土壤养分状况和作物产量,陈娟等^[30]即通过有机肥配施化肥的方法提升了新增耕地土壤肥力及麦玉产量。同时因为有机质含量与全氮(0.920)、有效磷(0.564)为极显著正相关($p < 0.01$),有机肥配施磷肥的方式是改善研究区新增耕地养分状况的有效措施。

4 结论

新增耕地土壤肥力水平较差,肥力等级较低,土壤全氮、有效磷、有机质含量均明显低于旱地对照,存在明显的养分缺乏。不同用地类型改为的新增耕地土壤养分状况差异显著($p < 0.05$),农村宅基地改为的新增耕地土壤养分状况较优,而草地改为的新增耕地土壤各个养分状况结果均较差。各养分指标间相关性较强,土壤有机质含量与全氮、有效磷为极显著正相关,有机质与全氮、有效磷含量有高度同步性;土壤pH值与有效磷含量为显著负相关,与速效钾、有机质含量为显著正相关,土壤pH值影响土壤养分状态。研究区旱地对照土壤综合肥力指数中上水平,新增耕地土壤综合肥力指数偏低,土壤pH值是研究区旱地和新增耕地共同的土壤肥力制约因子。

新增耕地普遍存在有机质含量少和土壤肥力低等问题,需关注新增耕地尤其是草地改为的新增耕地土壤肥力问题并进行改善,有机肥配施磷肥的方式是改善研究区新增耕地养分状况的可行之策。对草地改为的耕地还应该注意钾肥的补充。

参考文献(References)

- [1] 程锋,王洪波,鄢文聚.中国耕地质量等级调查与评定[J].中国土地科学,2014,28(2):75-82.
Cheng Feng, Wang Hongbo, Yun Wenju. Study on investigation and assessment of cultivated land quality grade in China [J]. China Land Science, 2014, 28(2): 75-82.
- [2] 董秀茹,刘浩洋,刘洪彬.基于耕地资源质量分类的辽宁省耕地土壤条件及空间分布特征分析[J].土壤通报,2021,52(5):1020-1027.

- Dong Xiuru, Liu Haoyang, Liu Hongbin. Cultivated soil conditions and spatial distribution characteristics based on cultivated land quality classification in Liaoning Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(5): 1020-1027.
- [3] 杨尽. 利用矿物改良土地整理新增耕地贫瘠土壤研究[D]. 四川 成都: 成都理工大学, 2010.
- Yang Jin. Using minerals improving barren soil of added cultivated land in land consolidation [D]. Chengdu, Sichuan: Chengdu University of Technology, 2010.
- [4] 刘彦随. 土地综合研究与土地资源工程[J]. *资源科学*, 2015, 37(1): 1-8.
- Liu Yansui. Integrated land research and land resources engineering [J]. *Resources Science*, 2015, 37(1): 1-8.
- [5] 张扬, 李占斌, 董起广. 裸岩石砾地客土土体结构对水肥渗漏的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(1): 162-166.
- Zhang Yang, Li Zhanbin, Dong Qiguang. Analysis of water and nutrients leakage on barren gravel land with different structure of topsoil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(1): 162-166.
- [6] 王军, 钟莉娜, 应凌霄. 土地整治对生态系统服务影响研究综述[J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(9): 803-812.
- Wang Jun, Zhong Lina, Ying Lingxiao. Review on the study of the impacts of land consolidation on ecosystem services [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(9): 803-812.
- [7] 蒋红丽, 曹晓晖, 赵博. 岐山县新增耕地土壤养分现状分析[J]. *南方农机*, 2021, 52(16): 26-28.
- Jiang Hongli, Cao Xiaohui, Zhao Bo. Analysis of the status quo of soil nutrients in newly-added cultivated land in Qishan County [J]. *China Southern Agricultural Machinery*, 2021, 52(16): 26-28.
- [8] 胡一, 王晶, 李刚. 渭北旱塬土地整治新增耕地土壤养分特征及肥力等级评价: 以合阳县为例[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(27): 94-100.
- Hu Yi, Wang Jing, Li Gang. Soil nutrient characteristics and fertility grade evaluation of newly-increased farmland in Weibei dryland: A case study of Heyang County [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(27): 94-100.
- [9] 闫童, 杨化恩, 刘风华, 等. 不同培肥措施对新增耕地养分变化及作物产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(12): 74-78.
- Yan Tong, Yang Huaen, Liu Fenghua, et al. Effects of fertilization measures on nutrient change and crop yield of newly-cultivated land [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(12): 74-78.
- [10] 刘哲, 曹石榴, 王娜, 等. 不同耕作实践对新增耕地土壤结构及养分含量的影响[J]. *西南农业学报*, 2023, 36(1): 39-46.
- Liu Zhe, Cao Shiliu, Wang Na, et al. Effect of different tillage practices on soil structure and nutrient content in newly reclaimed cultivated land [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 36(1): 39-46.
- [11] Legrand F, Picot A, Cobo-Díaz J F, et al. Effect of tillage and static abiotic soil properties on microbial diversity [J]. *Applied Soil Ecology*, 2018, 132: 135-145.
- [12] 王悦颖, 丛海涛, 李勇, 等. 新增耕地土壤的理化特征研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 53(6): 845-849.
- Wang Yueying, Cong Haitao, Li Yong, et al. Study on the soil physicochemical characteristics of newly cultivated farmland in Tai'an City [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2022, 53(6): 845-849.
- [13] 朱奕豪, 李青梅, 刘晓丽, 等. 不同土地整治类型新增耕地土壤微生物群落特征研究[J]. *生态环境学报*, 2022, 31(5): 909-917.
- Zhu Yihao, Li Qingmei, Liu Xiaoli, et al. Characteristics of soil microbial community in newly cultivated land under different land consolidation types [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2022, 31(5): 909-917.
- [14] 于路加, 王翠平, 马海军, 等. 银川市黄河滩地土壤性状空间分布特征与肥力质量评价[J]. *土壤*, 2024, 56(1): 202-213.
- Yu Lujia, Wang Cuiping, Ma Haijun, et al. Spatial distribution of soil properties and evaluation of fertility quality of Yellow River floodplains in Yinchuan City [J]. *Soils*, 2024, 56(1): 202-213.
- [15] 刁二龙, 曹广超, 曹生奎, 等. 祁连山南坡不同土地利用方式下土壤理化性质及空间变异性分析[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(8): 1864-1871.
- Diao Erlong, Cao Guangchao, Cao Shengkui, et al. Analysis of soil physical and chemical properties and spatial variability under different land use patterns in southern slope of Qilian Mountains [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(8): 1864-1871.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 42-109.
- Bao Shidan. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis* [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 42-109.
- [17] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究[J]. *土壤*, 2004, 36(1): 104-106.
- Luo Bosheng, Zhong Jihong, Chen Junjian. Integrated digitization evaluation on soil fertility [J]. *Soils*, 2004, 36(1): 104-106.
- [18] 郑立臣, 宇万太, 马强, 等. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 156-161.

- Zheng Lichen, Yu Wantai, Ma Qiang, et al. Advances in the integrated evaluation of farmland fertility [J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5):156-161.
- [19] 王建国, 杨林章, 单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2):176-183.
Wang Jianguo, Yang Linzhang, Shan Yanhong. Application of fuzzy mathematics to soil quality evaluation [J]. Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(2):176-183.
- [20] 孙绪博, 张宏凯, 孙婴婴. 基于模糊数学模型的沿黄河滩地土壤质量综合评价: 以韩城市下峪口为例[J]. 环境工程, 2017, 35(S2):537-540, 536.
Sun Xubo, Zhang Hongkai, Sun Yingying. Comprehensive evaluation of soil quality along the Yellow River beach based on fuzzy mathematical model: A case study of Xiayukou in Hancheng City [J]. Environmental Engineering, 2017, 35(S2):537-540, 536.
- [21] 赵学强, 潘贤章, 马海艺, 等. 中国酸性土壤利用的科学问题与策略[J]. 土壤学报, 2023, 60(5):1248-1263.
Zhao Xueqiang, Pan Xianzhang, Ma Haiyi, et al. Scientific issues and strategies of acid soil use in China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2023, 60(5):1248-1263.
- [22] Tian Dashuan, Niu Shuli. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition [J]. Environmental Research Letters, 2015, 10(2):024019.
- [23] 张福锁. 我国农田土壤酸化现状及影响[J]. 民主与科学, 2016(6):26-27.
Zhang Fusuo. Present situation and influence of farmland soil acidification in China [J]. Democracy & Science, 2016(6):26-27.
- [24] 曹小闯, 钟楚, 马庆旭, 等. 不同典型地带性土壤氮素分布特征及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2016, 27(3):688-696.
Cao Xiaochuang, Zhong Chu, Ma Qingxu, et al. Distribution characteristics of soil nitrogen and its influence factors in different typical zonal soils [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(3):688-696.
- [25] 张玲玉, 赵学强, 沈仁芳. 土壤酸化及其生态效应[J]. 生态学杂志, 2019, 38(6):1900-1908.
Zhang Lingyu, Zhao Xueqiang, Shen Renfang. Soil acidification and its ecological effects [J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(6):1900-1908.
- [26] 李文婷, 黄顺生, 许伟伟, 等. 淮南市土壤 pH 时空变化特征及影响因素[J]. 中国土壤与肥料, 2025(1):1-14.
Li Wenting, Huang Shunsheng, Xu Weiwei, et al. Spatiotemporal variation characteristics and influencing factors of soil pH in Huai'an City [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2025(1):1-14.
- [27] 李雪梅, 舒英格. 不同土地利用类型下土壤养分变化及生态化学计量特征分析[J]. 中国农学通报, 2023, 39(28):62-69.
Li Xuemei, Shu Yingge. Analysis of soil nutrient changes and ecological stoichiometry under different land use types [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(28):62-69.
- [28] 连旭东, 张璐, 刘思汝, 等. 作物产量对土壤 pH 的响应差异及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(9):1618-1629.
Lian Xudong, Zhang Lu, Liu Siru, et al. Response of crop yield to soil pH and the influencing factors [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2023, 29(9):1618-1629.
- [29] Neina D. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation [J]. Applied and Environmental Soil Science, 2019, 2019:5794869.
- [30] 陈娟, 郭宁, 王艳平, 等. 有机肥对复垦新增耕地土壤综合肥力及麦玉周年产量的影响[J]. 华北农学报, 2024, 39(增刊1):195-202.
Chen Juan, Guo Ning, Wang Yanping, et al. The effect of organic fertilizer on the comprehensive fertility of newly reclaimed farmland soil and the annual yield of wheat and corn [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2024, 39(Suppl.1):195-202.

(上接第 28 页)

- [28] 陈雪娇, 韩航, 侯晓龙, 等. 水土保持植物类芦对土壤酸胁迫的形态生理响应[J]. 草业学报, 2017, 26(4):143-149.
Chen Xuejiao, Han Hang, Hou Xiaolong, et al. The morphological and physiological responses of the soil and water conservation plant *Neyraudia reynaudiana* to acid stress [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(4):143-149.
- [29] 肖强, 郑海雷, 陈瑶, 等. 盐度对互花米草生长及脯氨酸、可溶性糖和蛋白质含量的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4):373-376.
Xiao Qiang, Zheng Hailei, Chen Yao, et al. Effects of salinity on the growth and proline, soluble sugar and protein contents of *Spartina alterniflora* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(4):373-376.