



# 土壤肥料学综合性实验设计

杨 爽

(西藏农牧学院 资源与环境学院, 林芝 860000)

**摘要:** 以雅鲁藏布江中游河谷地带主要的农田土壤类型——冷棕钙土为实验对象, 将土壤肥料学的主要实验项目进行系统整合, 设计成综合性实验。通过科学的综合性实验设计, 学生不但可以掌握土壤主要理化指标的测定方法、分级标准、相互关系, 还可以根据土样实测数据, 探讨冷棕钙土的农业生产性状, 为当地农业生产实践服务。此综合性实验设计将教学、科研、生产实践成功相结合, 既训练了学生的实验操作技能, 又提高了学生的综合分析能力, 取得了良好的实验教学效果。

**关键词:** 土壤肥料学; 综合性实验; 实验设计; 实验教学

中图分类号: G642.423

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230399

## Design of Comprehensive Experiment on Soil and Fertilizer Sciences

YANG Shuang

(School of Biology and Technique, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, China)

**Abstract:** Cold brown calcic soils, the major farmland soil type, in the middle reach of the Yarlung Zangbo River valley was selected as the experimental object, and then the main experimental items of soil and fertilizer sciences were systematically integrated to design a comprehensive experiment. Through the scientific design of comprehensive experiment, the students can not only master the determination methods, grading standards and relationship of the main physical and chemical indexes of soil, but also discuss the agricultural production characteristics of cold brown calcium soil according to the result of soil samples, so as to serve the local agricultural production practice. This comprehensive experiment design combined education, research and production practice, which not only trained the students' experimental operation skills, but also improved their comprehensive analytical ability, and achieved good experimental teaching effect.

**Key words:** soil and fertilizer sciences; comprehensive experiment; experimental design; experiment teaching

土壤肥料学是高校农林类专业必修的专业基础课, 作为一门理论与实践紧密结合的课程, 涉及的实验项目很多<sup>[1-2]</sup>。实验教学是深化理论教学内容的重要途径<sup>[3]</sup>。传统的实验教学模式为“注入式”<sup>[4]</sup>, 偏重培养学生掌握分析测试方法和熟练技能, 且实验内容相互独立。然而, 在生产实践中需要对土壤多项测定数据建立关联, 进行综合分析获得研究结果才能指导生产实际。因此, 为了培养学生的数据处理能力、理论联系实际、综合分析问题和解决问题的能力、创新研究能力, 开展研究型综合性课程实验十分必要。

本文以西藏地区农业生产主要土壤类型之一的冷棕钙土为实验对象, 设计完成了土壤主要理化性质的测定、指标间的相关性分析以及冷棕钙土农业生产性状分析综合性实验教学研究。

### 1 实验设计

#### 1.1 土壤样品的采集与制备

冷棕钙土原名山地灌丛草原土, 属高山土纲, 发育于青藏高原高寒温凉的半干旱河谷, 为青藏高原高山山地垂直地带性土壤系列的基带土壤之一, 土壤利用方式有耕地和林草地, 是青藏

收稿日期: 2023-08-30; 修回日期: 2024-04-23

基金项目: 西藏自治区教育科学研究项目(xzjykt621033)。

作者简介: 杨爽(1982-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事土壤肥料学和土壤农化分析课程的教学和相关科研工作。

E-mail: yangshuang@xza.edu.cn

高原农牧业生产的重要土壤<sup>[5]</sup>。2022年7月，土壤样品采自拉萨市曲水县，地理分布范围为北纬90.4319°~90.9760°、东经29.2465°~29.5369°，共采集农田耕层(0~20 cm)土壤样品29份，土壤类型均为冷棕钙土。将采集到的土壤样品自然风干后，研磨、过筛、装袋备用。通过此过程可以使

## 1.2 土壤样品理化性质分析

以29份农田耕层土壤样品为综合实验材料，开展“土壤肥料学”课程的研究型综合性实验。综合实验分析包括环刀法测定土壤容重、吸管法测定土壤颗粒组成、电位法测定土壤pH、乙酸铵/乙酸钠交换法测定土壤阳离子交换量(cation exchange capacity, CEC)、重铬酸钾-外加加热法测定土壤有机质含量、凯氏定氮法测定土壤全氮、Olsen法测定土壤有效磷、乙酸铵浸提-火焰光度

法测定土壤速效钾<sup>[6-8]</sup>8个实验项目。通过此过程让学生掌握基础土壤理化指标的测定方法和实验原理，熟悉相关的仪器操作步骤。最后通过对实验数据的综合分析，探讨土壤不同理化指标间的相关性，并结合文献资料查阅结果，总结冷棕钙土的主要农艺性状，锻炼学生对所学知识的综合应用能力。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤物理性质分析

#### 2.1.1 容重

土壤容重是反映土壤松紧度的指标，对于大多数植物来说，土壤容重为1.14~1.26 g/cm<sup>3</sup>比较适宜，有利于幼苗的出土和根系的正常生长<sup>[9]</sup>。以此作为评价标准，研究区域农田土壤平均容重为1.41 g/cm<sup>3</sup>，如表1所示，大于1.26 g/cm<sup>3</sup>表明该区域冷棕钙土农田耕层土壤容重偏大。

表1 土壤机械组成和土壤容重描述性统计

统计指标	颗粒组成/%				容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )
	2~0.2 mm	0.2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm	
最小值	8.65	8.60	2.81	0.40	1.12
最大值	46.99	72.30	24.28	15.35	1.65
平均值	22.77	52.31	13.92	9.25	1.41
标准差	9.1	8.6	4.9	3.1	0.13
变异系数/%	39.97	16.44	35.22	33.52	9.38

#### 2.1.2 土壤机械组成及土壤质地

土壤质地是农田土壤最基本的性状之一，它与土壤肥力、作物生长关系密切<sup>[9]</sup>。通过土壤粒径分析可以确定土壤质地。

由表1可知，土壤机械组成中细砂粒含量(0.2~0.02 mm)>粗砂粒含量(2~0.2 mm)>粉砂粒含量(0.02~0.002 mm)>粘粒含量(0.002 mm以下)，表明冷棕钙土农田耕层土壤以细砂粒(0.2~0.02 mm)为主，而细砂粒保持养分的能力弱，养分缺乏。从各粒级的变异系数(coefficient of variation, CV)来看，细砂粒含量的变异系数最小，粗砂粒变异系数最大，这说明在颗粒组成上细砂粒的含量已趋于稳定。

根据土壤样品机械组成分析结果和国际制土壤质地分类标准<sup>[10]</sup>，研究区农田冷棕钙土质地可划分为砂土及壤质砂土、砂质壤土、砂质黏壤土3种质地类型，其中砂质壤土占比最高(86.21%)，如表2所示。说明农田冷棕钙土耕层土壤质地以砂质壤土为主。

表2 各土壤质地类型样点比例统计

土壤质地类型	砂土及壤质砂土	砂质壤土	砂质黏壤土
比例/%	10.34	86.21	3.45

### 2.2 土壤化学性质分析

#### 2.2.1 土壤化学性质的描述性统计分析

对土壤化学指标进行描述性统计分析，结果如表3所示。统计结果表明，冷棕钙土农田耕层土壤pH值在5.83~9.20之间，平均值为7.63；CEC值在2.70~13.30 cmol(+)/kg之间，均值为8.55 cmol(+)/kg；有机质含量在1.41~30.20 g/kg之间，平均值为16.18 g/kg；全氮含量介于0.16~2.06 g/kg之间，平均值为1.06 g/kg；有效磷含量在2.17~35.50 mg/kg之间，平均值为14.85 mg/kg；速效钾含量在34~257 mg/kg之间，平均值为84.21 mg/kg。土壤pH、阳离子交换量、有机质、全氮、有效磷、速效钾均属于中等变异程度(10%≤CV≤100%)，其中土壤pH变异系数最小为11.66%，土壤有效磷含量变异系数最大为60%，因此，各指标的平均值代表性较强。

表 3 酸碱度、CEC 和主要养分指标的统计特征值

统计指标	pH	CEC/[cmol(+) $\cdot$ kg <sup>-1</sup> ]	有机质/(g $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	全氮/(g $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	有效磷/(mg $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	速效钾/(mg $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )
最小值	5.83	2.70	1.41	0.16	2.17	34.00
最大值	9.20	13.3	30.20	2.06	35.50	257.00
平均值	7.63	8.55	16.18	1.06	14.85	84.21
标准差	0.89	2.64	8.12	0.50	8.91	45.80
变异系数/%	11.66	30.86	50.21	46.79	60.00	54.39

### 2.2.2 酸碱度

土壤酸碱度对农作物的生长发育有着不可忽视的作用。通常根据 pH 值将土壤酸碱性分为若干级<sup>[9]</sup>。统计结果表明, 所测土壤样品呈酸性至强碱性, 其中碱性样地占比最高(51.72%), 如表 4 所示; 结合表 3 统计结果, pH 均值为 7.63, 表明冷棕钙土农田土壤整体偏碱性。

表 4 曲水县农田土壤酸碱性分级及分布比例

统计项	pH				
	<5.0	5.0~6.5	6.5~7.5	7.5~8.5	>8.5
分级	强酸性	酸性	中性	碱性	强碱性
比例/%	0	13.79	17.24	51.72	17.24

### 2.2.3 阳离子交换量

通常情况下土壤阳离子交换量越大, 其保肥供肥能力越强。结合表 3 和表 5 可知, 冷棕钙土农田耕层土壤 CEC 平均值为 8.55 cmol(+)/kg, 属于“低”水平。整体而言, 冷棕钙土阳离子交换量属于“中低”水平, 保肥供肥能力不佳。

表 5 曲水县农田土壤 CEC 的分级与比例统计

统计项	CEC/[cmol(+) $\cdot$ kg <sup>-1</sup> ]		
	<10	10~20	>20
等级	低	中	高
比例/%	72.41	27.59	0

表 6 农田土壤养分含量分级与比例统计

养分指标	1级(丰)		2级(稍丰)		3级(中等)		4级(稍缺)		5级(缺)		6级(极缺)	
	含量	比例	含量	比例	含量	比例	含量	比例	含量	比例	含量	比例
有机质/(g $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	>40	0	30.0~40.0	3.45	20.0~30.0	34.48	10.00~20.00	34.48	6.00~10.00	17.24	<6.0	10.34
全氮/(g $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	>2	3.45	1.5~2.0	10.34	1.0~1.5	44.83	0.75~1.00	10.34	0.50~0.75	13.79	<0.5	17.24
有效磷/(mg $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	>40	0	20.0~40.0	27.59	10.0~20.0	41.38	5.00~10.00	13.79	3.00~5.00	10.34	<3.0	6.90
速效钾/(mg $\cdot$ kg <sup>-1</sup> )	>200	3.45	150.0~200.0	6.90	100.0~150.0	10.34	50.00~100.00	65.52	30.00~50.00	13.79	<30.0	0

注: 比例, 单位%。

根据 1992 年西藏土壤普查结果, 当时的西藏大部分土壤缺氮、磷, 不缺钾<sup>[14]</sup>, 因此西藏农业部门一直重视氮肥、磷肥的施用, 在化肥的调进

### 2.2.4 土壤有机质

土壤有机质既是土壤中异养型微生物的能源物质, 又是植物矿质营养和有机营养的源泉, 同时也是形成土壤结构的重要因素。

表 3 统计结果表明, 冷棕钙土农田耕层土壤有机质含量平均值为 16.18 g/kg, 低于全国第二次土壤普查耕层土壤有机质平均含量 19.8 g/kg<sup>[11]</sup>。根据全国第二次土壤普查养分分级标准<sup>[12]</sup>可知, 34.48% 的样本有机质含量处于“中等”水平, 62.26% 的样本有机质含量处于缺乏水平(包括稍缺、缺、极缺 3 个等级), 如表 6 所示。

### 2.2.5 土壤全氮

土壤全氮含量可以代表土壤潜在供氮水平, 通常用于衡量氮素的基础肥力。表 3 统计结果表明, 冷棕钙土农田耕层土壤全氮含量平均值为 1.06 g/kg, 处于“中等”水平, 但接近“中等”水平的下限(1.0 g/kg)。表 6 统计结果表明, 41.37% 的样地土壤全氮含量处于缺乏水平。

### 2.2.6 土壤有效磷

结合表 3 和表 6 可知, 冷棕钙土农田耕层土壤有效磷含量平均值为 14.85 mg/kg, 处于中等水平; 表 6 统计结果表明, 41.38% 的样本有效磷含量处于第 3 级(10~20 mg/kg), 27.59% 的土样有效磷含量处于第 2 级(20~40 mg/kg), 31.03% 的样地土壤有效磷处于缺乏水平<sup>[13]</sup>。

中氮、磷肥所占的比例一直很大。经过 30 多年的氮、磷肥补充, 现在西藏土壤全氮和有效磷含量有了较大程度的提高<sup>[15]</sup>。但根据此次调查结果,

冷棕钙土农田土壤仍有 40% 以上样地土壤全氮处于缺乏水平，近 1/3 的样地土壤有效磷处于缺乏水平，近 80% 的样地土壤速效钾处于缺乏水平，这与多年来西藏钾肥的施肥量一直很低有关。

### 2.2.7 土壤速效钾

结合表 3 和表 6 可知，冷棕钙土农田耕层土壤速效钾含量平均值为 84.21 mg/kg，处于 4 级稍缺水平(50~100 mg/kg)；表 6 统计结果表明，仅有 20.69% 的样本达到中等及以上水平，说明拉萨冷棕钙土农田土壤速效钾比较缺乏。

## 2.3 主要理化指标的相关性分析

阳离子交换量的大小受到胶体数量、胶体类型、土壤 pH 共 3 个因素的影响。由表 7 可知，

土壤 CEC 与粘粒含量、有机质含量的相关系数最高，均为 0.852，表明土壤有机质含量和粘粒含量是影响冷棕钙土 CEC 变化的首要因素。土壤 CEC 与粉砂粒含量也呈极显著相关关系，但二者的相关系数(0.724)小于土壤 CEC 与粘粒含量的相关系数(0.852)，表明矿质颗粒对 CEC 的贡献主要来自粘粒部分，但粉砂粒也有一定的贡献；土壤 CEC 与速效钾含量呈极显著正相关，体现了旱地土壤 CEC 对速效钾的保蓄功能；土壤 CEC 与全氮含量呈极显著正相关关系，则是由于土壤 CEC 与有机质关系密切造成的；土壤 CEC 与土壤 pH 无显著的相关关系，其原因有待于进一步研究。

表 7 冷棕钙土主要土壤理化指标的相关性

统计项	粉砂粒	粘粒	pH	CEC	有机质	全氮	有效磷	速效钾
粉砂粒	1	0.834**	-0.018	0.724**	0.804**	0.768**	0.084	0.438*
粘粒		1	0.059	0.852**	0.862**	0.854**	0.406*	0.535**
pH			1	0.134	-0.036	-0.041	-0.118	0.097
CEC				1	0.852**	0.834**	0.265	0.622**
有机质					1	0.953**	0.304	0.588**
全氮						1	0.375*	0.580**
有效磷							1	0.285
速效钾								1

注：\*\*表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关；\*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

全国各地的研究资料表明，土壤有机质含量与土壤总氮量之间呈正相关<sup>[16]</sup>。总的来看，土壤有机质一般含氮 5% 左右<sup>[6]</sup>。学生的实验数据统计结果也揭示了相同的规律，土壤有机质含量与土壤全氮量之间相关系数高达 0.953。冷棕钙土样本土壤有机质的含氮量在 4.7%~11.7% 之间。

理论上讲，土壤质地粘重的土壤，尤其是 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值越低的土壤，对磷的固定能力越强<sup>[17]</sup>；换言之，质地偏砂，SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值越高的土壤，对磷的固定能力越弱，磷的有效性越高。表 7 统计结果表明，冷棕钙土粘粒含量与有效磷含量的相关关系达到显著水平( $r=0.406$ )，也验证了土壤质地与土壤有效磷关系密切的论点。西藏土壤风化淋溶程度低，SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值普遍较高(平均值为 0.20)，粘粒含量平均值只有 118 g/kg<sup>[18]</sup>。表 1 统计结果表明，冷棕钙土粘粒含量平均值更低，只有 9.25 g/kg，因此冷棕钙土对磷的固定能力更弱，磷的有效性更高。

综上所述，主要理化指标的相关性分析结果

印证了文献 [6, 9, 17-21] 中的一些重要观点：阳离子交换量与土壤有机质含量、矿质颗粒组成关系密切；土壤有机质含量与土壤全氮量之间呈正相关关系；SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值越高的土壤，对磷的固定能力越弱。这也从侧面验证了学生实验数据的合理性和科学性。

## 2.4 冷棕钙土农业生产性状分析

学生综合分析测定结果，总结冷棕钙土的主要农业生产性状如下：土壤容重平均值为 1.41 g/cm<sup>3</sup>，土壤偏紧实，对作物生长不利；土壤矿质颗粒组成以细砂粒(0.2~0.02 mm)为主，其保持养分的能力弱，养分缺乏；土壤质地以砂质壤土为主，土壤砂性强，持水和保水能力有限；土壤 pH 平均值为 7.63，整体偏碱性；阳离子交换量平均值为 8.55 cmol(+)/kg，处于“低”水平，土壤保肥供肥能力差；土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量的平均值分别为 16.18 g/kg(稍缺水平)、1.06 g/kg(中等水平)、14.85 mg/kg(中等水平)、84.21 mg/kg(稍缺水平)，土壤养分含量整体

偏低。实地调查采样过程中,学生们还发现冷棕钙土农田土壤砾石含量很高,冷棕钙土的这些农业生产性状均是限制当地农田土壤生产力的主要因素。

### 2.5 土壤肥科学综合性实验设计教学效果分析

本实验属于土壤肥科学课程的一个研究型综合性实验,实验设计从课程教学目标出发,涉及土壤样品的采集和制备、土壤容重的测定、土壤质地的测定、土壤酸碱度的测定、土壤阳离子交换量的测定、土壤有机质的测定、土壤全氮的测定、土壤有效磷的测定、土壤速效钾的测定 9 个子实验,实验设计具有系统性和连续性。学生通过对实验数据的合理分析,结合查阅大量文献资料,总结出了冷棕钙土的农业生产性状。实验培养了学生的实验操作技能和动手能力,加深了学生对课程基础知识的理解,提高了学生对实验结果的分析和应用能力,培养了学生的科研素养,为学生开展科技创新活动和毕业论文(设计)奠定了良好基础。学生普遍认为实验内容丰富、脉络清晰、实验设计合理、教学方法得当,极大地激发了他们的学习兴趣。因此,此综合性实验设计将教学、生产实践和科学研究成功相结合,取得了良好的实验教学效果。

此实践教学案例的创新之处还在于野外实习与室内实验的有机结合。过去,实验课安排在理论课之后,而课程实习则集中安排在期末进行,实验与实习脱节。平时实验课上分析的土壤样品是从校园随机采集的,没有明确的研究目标,所做的实验纯粹为验证性实验;而学生在课程实习中采回的土壤样品,又因为临近期末考试和放假,根本无法进行分析。野外实习与室内实验的有机结合在一定程度上弥补了实验教学和野外实习课时少且过于集中的问题,使实践教学环节更具有系统性和完整性。

## 3 结束语

综合性实验教学是培养学生创新能力、综合素质的重要过程和有效途径,能够提升学生独立分析、解决问题的能力。开设系统性好、综合性强、与社会需求紧密联系的综合性实验,能够有效解决验证性实验教学长期存在的问题和短板,对于培养高质量的专业人才具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 聂兆君,刘红恩,王祎,等.关于土壤肥科学实验教学方法改进的思考[J].*实验室科学*,2016,19(1):103-105.
- [2] 王小波,卢树昌,刘惠芬,等.基于应用型人才培养的土壤肥科学实验教学改革探索[J].*实验室科学*,2015,18(6):127-129.
- [3] 吕华芳,王忠静.土壤水综合教学实验设计[J].*实验技术与管理*,2013,30(10):193-195.
- [4] 杨秀虹,王诗忠,陈志雄,等.环境土壤学实验课程的启发式教学探索:以土壤酸碱度测定实验为例[J].*实验科学与技术*,2017,15(3):64-68.
- [5] 西藏自治区土地管理局.西藏自治区土种志[M].北京:科学出版社,1994.
- [6] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [7] 杜森,高祥照.土壤分析技术规范[M].2版.北京:中国农业出版社,2006.
- [8] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [9] 沈其荣.土壤肥科学通论[M].2版.北京:高等教育出版社,2021.
- [10] 刘孝义,依艳丽.土壤物理学基础及其研究法[M].沈阳:东北大学出版社,1998.
- [11] 沈善敏.中国土壤肥力[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [12] 全国土壤普查办公室.中国土壤普查技术[M].北京:农业出版社,1992.
- [13] 张福锁.测土配方施肥技术[M].北京:中国农业大学出版社,2011.
- [14] 刘国一.西藏—江两河流域农田土壤养分限制因子与小麦氮磷钾最佳施用量研究[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [15] 刘国一,普布贵吉,李雪,等.西藏化肥减施增效的关键技术措施[J].*西藏农业科技*,2018(3):48-52.
- [16] 南京农业大学主编.土壤农化分析[M].2版.北京:农业出版社,1986.
- [17] 袁可能.植物营养元素的土壤化学[M].北京:科学出版社,1983.
- [18] 高丽丽.西藏土壤有机质和氮磷钾状况及其影响因素分析[D].成都:四川农业大学,2004.
- [19] 徐明岗,张建新,张航,等.黑坊土、黄褐土等阳离子交换量影响因素的研究[J].*土壤通报*,1991,22(3):108-110.
- [20] 章明奎,朱祖祥.粉砂粒对阳离子交换量的影响[J].*土壤肥料*,1993(4):41-43.
- [21] 刘世全,蒲王琳,张世熔,等.西藏土壤阳离子交换量的空间变化和影响因素研究[J].*水土保持学报*,2004(5):1-5.