

# The Characteristic of the Distribution and Correlation Analysis of Total Nitrogen in Soil and Plant in Dianchi Lake Watershed

Chang'e Liu, Changqun Duan, Shuzhuang He, Xing Peng, Heng Zhang, Yin Yang

Institute of Environmental Sciences and Ecological Restoration & Key Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-Resource of Yunnan, Yunnan University, Kunming Yunnan

Email: [change@ynu.edu.cn](mailto:change@ynu.edu.cn)

Received: Jun. 5<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2015; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

Nitrogen is the essential element of all living organisms. Nitrogen is necessary for crop producing, and absence of Nitrogen in the soil is a major limited factor to lead the decreasing of crops gross production and property. Meanwhile, over fertilization with Nitrogen will cause eutrophication in the limnological ecosystem, accumulation of  $\text{NO}_3\text{-N}$  to ground water, and poison damage. This experiment assayed the total nitrogen content in the soil and crops in four different regions, Dounan Town in Chenggong County, Shangsuan Town in Jinning County, Songhua Dam in Panlong District and Majinpu in High-Tech District, by semi-micro Kieldahl method to indicate the characteristic of the distribution of total Nitrogen in Dianchi Lake. The results demonstrate the total nitrogen content in the soil in the sampling region is from 0.23 g/kg to 3.97 g/kg, and the mean is 2.35 g/kg. Meanwhile, the average total nitrogen content in the soil of cultivated land is higher than the woodland by the different land-using method. Furthermore, the average content of total nitrogen by green house growing is higher than the traditional growing method. The total Nitrogen content of crops in sampling region is from 9.77 g/kg to 46.77 g/kg, and the mean is 25.74 g/kg. In this range, the average total nitrogen content of transition regions crops varied as the following sequence: flat-farmland > sloped cultivated farmland > waterhead area farmland. In addition, and the total nitrogen content of crops in sampling regions varied as the following sequence: Majinpu in High-tech District > Songhua Dam in Panlong District > Dounan Town in Chenggong County > Shangsuan Town in Jinning County. The correlation coefficient of Pearson is 0.559 due to the two-way ANOVA test of the total nitrogen content in soil and crops, and according to the data analysis, the correlation of the total nitrogen content in crops and soils is significant.

## Keywords

Dianchi Lake Watershed, The Total Nitrogen Content of Soil, The Total Nitrogen Content of Crop

# 滇池流域四县区土壤和农作物全氮分布特征及相关分析

刘嫦娥, 段昌群, 和树庄, 彭星, 张珩, 杨尹

云南大学生态学与环境学院暨生物资源保护与利用重点实验室, 云南 昆明

Email: [change@ynu.edu.cn](mailto:change@ynu.edu.cn)

收稿日期: 2015年6月5日; 录用日期: 2015年6月23日; 发布日期: 2015年6月30日

## 摘要

氮素是构成一切生命体的重要元素。在作物生产中, 作物对氮的需要量较大, 土壤供氮不足是引起农产品产量下降和品质降低的主要限制因子。本研究运用半微量开氏法测定了滇池流域高新区马金铺、晋宁县上蒜镇、盘龙江松华坝、呈贡县斗南村四个县区的自然村的土壤和植物全氮含量, 揭示滇池流域全氮的分布特征。结果表明: 采样地区土壤全氮含量的范围是0.23 g/kg~3.97 g/kg, 平均值为2.35 g/kg, 在此范围内得出不同土地利用方式下土壤平均全氮含量: 耕地 > 林地; 不同种植模式下土壤平均全氮含量: 大棚 > 传统。采样地区作物全氮含量的范围为9.77 g/kg~46.77 g/kg, 平均值为25.74 g/kg, 在此范围内得出不同过渡区作物平均全氮含量: 坝平地 > 水源地 > 坡耕地; 不同区域作物平均全氮含量: 高新区马金铺 > 盘龙江松华坝 > 呈贡县斗南镇 > 晋宁县上蒜镇。对土壤和农作物全氮含量做双变量相关性双尾检验, Pearson相关性指数为0.559, 分析表明, 农作物全氮含量与土壤中的全氮含量相关。

## 关键词

滇池流域, 土壤全氮含量, 作物全氮含量

## 1. 前言

近二、三十年以来, 随着人口的急剧增加和经济的高速发展, 氮、磷污染负荷逐渐增加, 致使滇池污染和富营养化严重, 制约着湖泊功能的发挥, 对昆明以至云南的经济发展造成严重影响[1]。

非点源污染是导致水质污染最主要的原因之一。我国大部分地区降水集中, 生态破坏导致水土流失严重, 引起非点源污染。据美国、日本等国家的报道, 即使点源污染全面控制之后, 江河的水质达标率仅为 65%, 湖泊的水质达标率为 42%, 海域水质达标率为 78% [2]-[4]。这说明如果非点源污染控制不好, 水体就无法达标。因此, 与水资源环境改善密切相关的非点源污染研究已经成为国内外的研究热点。非点源污染的控制和治理不仅关系到自然生态环境的保护, 还直接关系到人类社会的可持续发展。

近10年由于农业种植结构调整, 农田化肥用量逐年增大, 水土流失也随之增加, 使农村面源污染加重, 从而导致流域污染物总量加大。流域内80%以上的面源污染物进入外海。在总污染负荷中, 面源污

染成为入湖污染源的首要来源，其中村镇生活污水、农田氮磷化肥、农业固体废物、暴雨径流、土壤侵蚀和水土流失是滇池流域面源污染的主要来源。尤其是农村面源污染所产生的有机物，总氮和总磷成为入湖污染负荷的主要来源，由于面源污染的时空范围更广，不确定性更大，成分、过程更复杂，因而加深了相应的研究、治理和管理政策制定的难度[5]。

近年来水体富营养化问题使得人们对土壤氮磷养分的关注已超出原来单纯的农学效应，其环境意义备受重视[6]-[8]。土壤氮磷的流失已成为不可忽视的非点源污染[9] [10]。同时土地利用方式，在养分管理、养分循环或养分平衡上有很大的差异[11] [12]。国内外有关氮素形态对植物生长的影响主要集中在 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 及 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 配施对植物的氮素同化[13]-[16]及叶菜类[17]-[19]品质安全方面的研究上。本实验主要是从不同的土的利用方式、土壤种植作物对土壤的含氮量的影响以及不同地区的作物含氮量来浅显分析一下滇池流域土壤和植物全氮分布特征，并确定土壤全氮与植物之间的相关联系，为今后更好的治理滇池流域土壤污染和滇池水体富营养化提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 样地概况

选择滇池流域晋宁县上蒜镇、高新区马金铺、盘龙江松华坝、呈贡县斗南镇四个县区。

### 2.2. 样品采集与处理

土壤样品的采集于旱季末期3月~4月在晋宁县上蒜镇、高新区马金铺、盘龙江松华坝、呈贡县斗南镇等县(镇)，以行政村为单位进行随机采样，总共采集土壤样品49个，其中与植物样品相对应的为38个。在采样期间，各地的作物所处的生长阶段各不相同，有处于萌芽阶段、开花阶段、结果阶段以及收获阶段。同时采样时，避开了天然下雨以及人工灌溉，取0~20 cm的表层土，避免由于土壤径流而带走土壤中的氮素。每个土壤样采集重量1 Kg左右，经过风干、磨细、过筛、称取大约120 g装袋后待测。

植物样品的采集工作与土壤样品采集同步，在每个土样方圆10 cm内采集。对于每一株成熟植物，分别采集根茎叶花果实，而对于成长阶段的植株，则是全株采摘。经过清洗泥土，杀青，粉碎机捣碎后装袋待测。

### 2.3. 实验方法

#### 2.3.1. 土壤全氮的测定

土壤和农作物全氮的测定方法为半微量开氏法(GB7173-87)。

#### 2.3.2. 数据处理

利用excel对数据进行初步整理与归类，再用SPSS统计软件对所得数据进行Pearson分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 滇池流域四区域土壤全氮的分布情况

采用半微量开氏法对滇池流域四区域土壤全氮含量进行测定，结果见表1。

由表1可知，在全部采集土壤样品的地区范围内，所测得土壤全氮含量的范围为0.23 g/kg~3.97 g/kg，平均值为2.35 g/kg。所测结果的最小值0.23 g/kg出现在林地土壤中，最大值3.97 g/kg出现在耕地土壤中。然而对于耕地土样来说，大棚种植模式下土壤所测得最大值为3.97 g/kg，最小值为1.40 g/kg；传统种植模式下土壤所测得最大值为3.88 g/kg，最小值为1.31 g/kg。对于按照地面所种植的作物类型来说，种植果菜类的土壤含氮量最高为最大值3.97 g/kg，最小值也达到2.24 g/kg；其次是种植叶菜类的土地，含氮量最大

**Table 1.** Different land-use types of the total nitrogen content of soil in Dianchi Lake watershed  
**表 1.** 滇池流域不同用地类型土壤全氮含量

用地类型	种植模式	样地	作物种类	全氮含量(g/kg)
耕地	传统	盘龙江松华坝	茎菜	2.74 ± 0.04
		盘龙江松华坝	茎菜	1.35 ± 0.09
		呈贡县斗南镇	果菜	2.24 ± 0.04
		呈贡县斗南镇	花卉	1.52 ± 0.01
		晋宁县上蒜镇	无作物	2.57 ± 0.04
		晋宁县上蒜镇	无作物	2.09 ± 0.08
		高新区马金铺	花卉	2.95 ± 0.02
		高新区马金铺	茎菜	1.31 ± 0.02
		盘龙江松华坝	果菜	3.88 ± 0.05
		盘龙江松华坝	茎菜	2.94 ± 0.02
		盘龙江松华坝	果菜	2.97 ± 0.06
		盘龙江松华坝	茎菜	1.92 ± 0.02
		呈贡县斗南镇	叶菜	2.67 ± 0.06
		呈贡县斗南镇	茎菜	1.99 ± 0.07
		呈贡县斗南镇	果菜	3.42 ± 0.04
		呈贡县斗南镇	无作物	2.11 ± 0.01
	呈贡县斗南镇	叶菜	2.85 ± 0.03	
	呈贡县斗南镇	叶菜	3.16 ± 0.08	
	呈贡县斗南镇	无作物	2.68 ± 0.05	
	晋宁县上蒜镇	无作物	1.40 ± 0.09	
	晋宁县上蒜镇	花菜	1.94 ± 0.04	
	晋宁县上蒜镇	果菜	3.97 ± 0.02	
	晋宁县上蒜镇	花菜	2.06 ± 0.02	
	呈贡县斗南镇	茎菜	2.16 ± 0.07	
	呈贡县斗南镇	果菜	2.32 ± 0.06	
	呈贡县斗南镇	花卉	2.02 ± 0.07	
	呈贡县斗南镇	茎菜	2.19 ± 0.09	
	呈贡县斗南镇	果菜	2.70 ± 0.09	
	呈贡县斗南镇	花卉	2.10 ± 0.04	
	呈贡县斗南镇	无作物	2.54 ± 0.04	
	呈贡县斗南镇	无作物	3.82 ± 0.04	
	呈贡县斗南镇	花卉	2.61 ± 0.06	
呈贡县斗南镇	花卉	2.41 ± 0.06		
呈贡县斗南镇	花卉	2.68 ± 0.08		
呈贡县斗南镇	叶菜	3.54 ± 0.08		
呈贡县斗南镇	无作物	2.68 ± 0.07		
呈贡县斗南镇	叶菜	3.21 ± 0.08		
呈贡县斗南镇	叶菜	3.48 ± 0.04		
呈贡县斗南镇	叶菜	3.12 ± 0.05		
呈贡县斗南镇	叶菜	3.13 ± 0.02		
呈贡县斗南镇	叶菜	2.88 ± 0.07		
呈贡县斗南镇	花卉	1.74 ± 0.01		
	大棚			

Continued

	晋宁县上蒜镇	0.79 ± 0.01
	晋宁县上蒜镇	1.57 ± 0.06
	晋宁县上蒜镇	1.26 ± 0.01
林地	晋宁县上蒜镇	0.67 ± 0.04
	晋宁县上蒜镇	0.73 ± 0.03
	盘龙江松华坝	0.23 ± 0.07
	湖滨坝平地	1.66 ± 0.02

值为3.54 g/kg, 最小值为2.67 g/kg; 再次是种植花卉类的土壤, 含氮量最大值为2.95 g/kg, 最小值为1.52 g/kg; 然后是种植茎菜类的土壤, 含氮量最大值为2.94 g/kg, 最小值为1.31 g/kg; 最后是土壤表面无作物类(指作物已经成熟被收获), 含氮量最大值为3.82 g/kg, 最小值为1.40 g/kg。

从不同的采样区域来看, 含氮量最大值出现在晋宁县上蒜镇, 其值为3.97 g/kg, 最小值出现在高新区马金铺, 其值为1.31 g/kg。而对于同一区域来说, 呈贡县斗南镇含氮量的最大值为3.82 g/kg, 最小值为1.52 g/kg; 盘龙江松华坝含氮量的最大值为3.88 g/kg, 最小值为1.92 g/kg。

### 3.1.1. 土地利用方式对土壤全氮含量的影响

对滇池流域不同土地利用方式下土壤全氮含量的数据处理得到图1。

从图1中可以看出, 不同土地利用方式下, 林地的土壤平均全氮含量显著低于耕地的土壤平均全氮含量, 其值还不到后者的二分之一。产生这种结果的原因有二: 主要是由于林地土壤含氮量很少受到人为因素的干扰, 基本上为该地区的本底值, 故其平均全氮含量值较低; 反之耕地则不一样, 为了追求利益的最大化, 农民会尽可能的多施加农药或者化肥获得作物丰收, 导致最终耕地的平均全氮含量较高。其次就是二者氮的来源不同, 林地主要是来自于枯枝落叶的回归, 氮的来源比较单一且量少, 其值也就相对较低; 而耕地除了施肥以外, 还有一些剩下的农作物及农业秸秆的回归以及大气中氮进入土壤, 导致其值相对较高。这国内的一些研究结果一致, 其研究结果为5种土地利用类型土壤全氮含量依次为: 下游大棚土壤 > 中上游平地耕地 > 下游平耕地 > 上游坡耕地 > 上游稀疏林地[20]。

### 3.1.2. 不同种植模式下土壤全氮的变化

对滇池流域不同种植模式下土壤全氮含量的数据进行分析得到图2。

从图2中可知, 不同种植模式下, 大棚跟传统的平均全氮含量存在一定的差距, 大棚的平均全氮含量略微高于传统的平均全氮含量, 导致这种结果出现的原因, 首先可能是大棚有薄膜覆盖, 雨水等不能降落到地面上, 相对于传统来说土壤径流带走的氮素损失就较小; 其次是由于大棚种植模式, 一年的茬数较传统的多, 因此所施加的农药与化肥就相应的多, 那么土壤就能吸附更多的氮并且部分积累下来。这个结果同样得到了验证。

## 3.2. 滇池流域作物全氮的分布情况

滇池流域作物全氮含量的测定结果详见表2。

由表2可知, 全部植物样的含氮量范围为9.77 g/kg~46.77 g/kg, 平均值为25.74 g/kg。水源地采摘的植物样含氮量的最大值为43.83 g/kg, 最小值为10.20 g/kg; 坝平地所采摘的植物样品含氮量的最大值为46.77 g/kg, 最小值为9.77 g/kg。

从不同的采样区域来看, 在高新区马金铺所采摘的植物样含氮量的最大值为46.51 g/kg, 最小值为29.63 g/kg; 盘龙江松华坝所采摘的植物样含氮量的最大值为46.77 g/kg, 最小值为14.31 g/kg; 晋宁县上

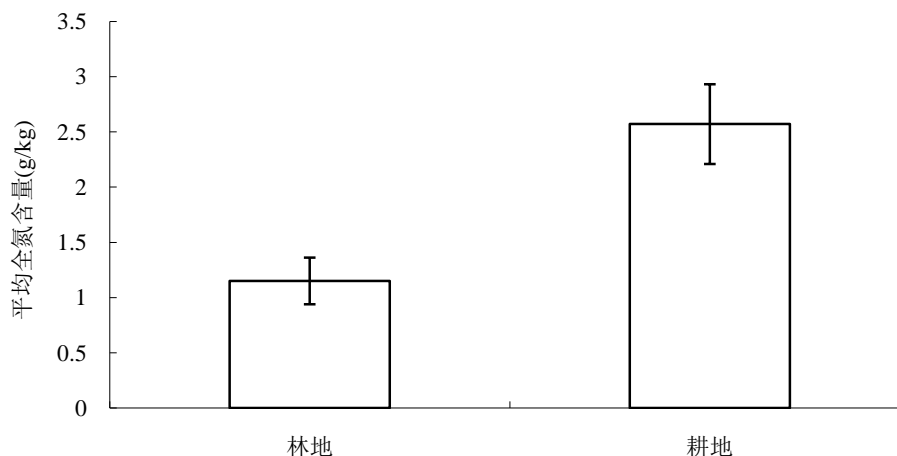


Figure 1. Two kinds of land utilizations of nitrogen content of soil on average  
图 1. 不同土地利用方式下的土壤平均全氮含量

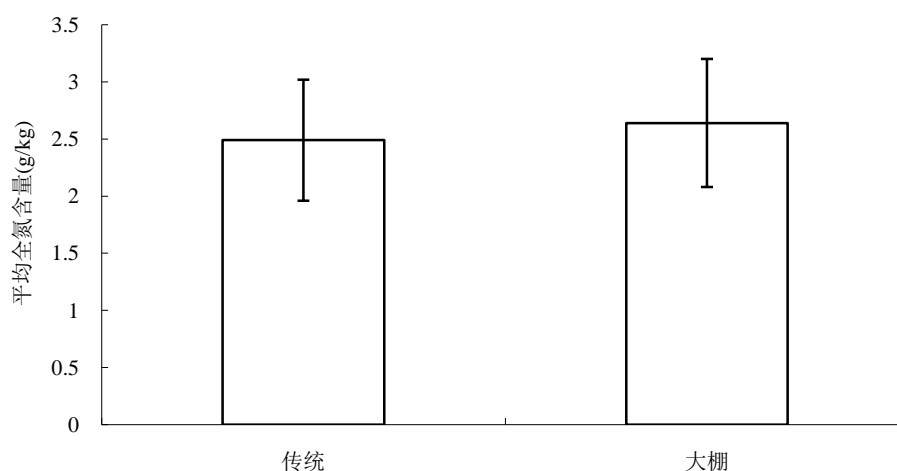


Figure 2. Two kinds of planting modes of average nitrogen content of soil  
图 2. 两种种植模式下的土壤平均全氮含量

蒜镇所采摘的植物样含氮量的最大值为 25.65 g/kg，最小值为 10.20 g/kg；呈贡县斗南镇所采摘的植物样含氮量的最大值为 38.10 g/kg，最小值为 9.77 g/kg。

从所采摘的植物样的种类来看，豌豆内所含氮量为最高 46.77 g/kg，并且豌豆的氮含量几乎都在 35.00 g/kg 以上，石竹梅内含氮量为最低 9.77 g/kg。

### 3.2.1. 滇池流域过渡区作物全氮的空间分布

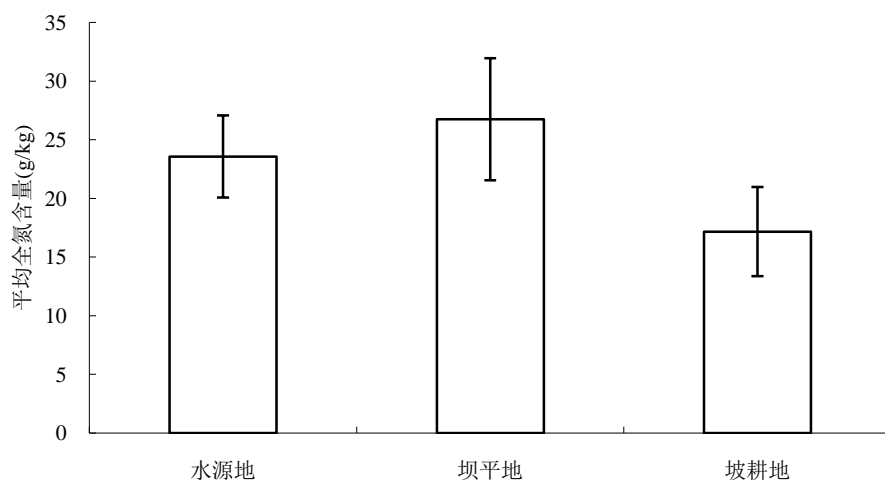
对滇池流域过渡区作物含氮量分类统计得到图 3。

从图3可知，在滇池流域三类过渡区域中，平均全氮含量的值大小顺序为：坝平地 > 水源地 > 坡耕地。据统计，水源区内氮肥利用率为30%~35%，农药使用量为138,196 t，利用率为20%~30%，农药、化肥的过量施用可见一斑[21] [22]。根据土壤水分含量和地下水位的测定，说明在水源地等地下水埋深较浅的地区，地下水位对土壤的淘洗作用明显，由地下水带走氮素的问题较为严重[23]-[26]。

根据文献报道，相对于坝平地而言，水源地平均全氮含量比坝平地低，是由于水源地地下水带走的氮素多，从而导致水源地作物可利用的氮较少，加之水源区氮肥利用率为30%~35%。在荒坡开垦种植过程中，破坏原有的植被覆盖，降低了地表覆盖率，而且未采取水土保持措施，从而导致发生严重的非点

**Table 2.** The total nitrogen content of all plants in different regions in Dianchi Lake watershed  
**表 2.** 滇池流域不同地区植物全氮含量分布

不同区域 农作物	水源地	坝平地	坡耕地	采样区域
绿笋		29.63 ± 0.05		高新区马金铺
西兰花		39.85 ± 0.03		高新区马金铺
豌豆		46.51 ± 0.02		高新区马金铺
蚕豆	32.52 ± 0.07			盘龙江松华坝
小麦		14.49 ± 0.05		盘龙江松华坝
豌豆		38.18 ± 0.06		盘龙江松华坝
青菜		21.53 ± 0.05		盘龙江松华坝
小麦			14.31 ± 0.02	盘龙江松华坝
豌豆		46.77 ± 0.04		盘龙江松华坝
蚕豆	43.83 ± 0.06			盘龙江松华坝
小麦			20.03 ± 0.09	盘龙江松华坝
小麦	10.20 ± 0.06			晋宁县上蒜镇
豌豆	25.65 ± 0.04			晋宁县上蒜镇
青花菜		17.77 ± 0.08		晋宁县上蒜镇
苞菜		12.26 ± 0.01		晋宁县上蒜镇
白菜	16.99 ± 0.05			晋宁县上蒜镇
大蒜	12.18 ± 0.04			晋宁县上蒜镇
油菜		28.09 ± 0.07		呈贡县斗南镇
油菜		27.08 ± 0.05		呈贡县斗南镇
瓢菜		28.00 ± 0.05		呈贡县斗南镇
玫瑰		17.38 ± 0.08		呈贡县斗南镇
勿忘我		14.41 ± 0.02		呈贡县斗南镇
洋白菜		31.10 ± 0.09		呈贡县斗南镇
生菜		35.08 ± 0.07		呈贡县斗南镇
康乃馨		22.40 ± 0.03		呈贡县斗南镇
紫罗兰		26.12 ± 0.01		呈贡县斗南镇
芹菜		38.10 ± 0.02		呈贡县斗南镇
莴笋		24.24 ± 0.06		呈贡县斗南镇
生菜		30.11 ± 0.02		呈贡县斗南镇
生菜		32.04 ± 0.02		呈贡县斗南镇
豌豆		35.37 ± 0.04		呈贡县斗南镇
小苦菜		26.66 ± 0.03		呈贡县斗南镇
大蒜		15.54 ± 0.03		呈贡县斗南镇
青花菜		20.07 ± 0.03		呈贡县斗南镇
莴笋		23.26 ± 0.01		呈贡县斗南镇
石竹梅		9.77 ± 0.01		呈贡县斗南镇
葱		14.19 ± 0.06		呈贡县斗南镇
生菜		36.43 ± 0.05		呈贡县斗南镇



**Figure 3.** The average total nitrogen content of crop in three kinds of transition zone  
**图 3.** 三类过渡区作物平均全氮含量

源污染物的流失，且远远超过其它几种土地利用类型[27]。对于坡耕地来说，由于水土流失远远超过其他两个区域，其土壤中的氮素含量就低，而作物中的氮素含量主要是来自于土壤中，故坡耕地作物平均全氮含量最低。

### 3.2.2. 滇池流域不同区域作物全氮的空间分布

对滇池流域按区域分类统计数据得到图 4。

从图4可知，四个采样区域植物平均全氮含量大小顺序为：高新区马金铺 > 盘龙江松华坝 > 呈贡县斗南镇 > 晋宁县上蒜镇。作物对氮素的利用率差异较大，其主要原因是由于土壤肥沃程度、土质、供试肥料品种、施用方法以及试验地区的气候条件不同所致[28]。对于以上四个区域，晋宁县上蒜镇主要为山地，土壤肥沃程度不如其他三个区域故其作物平均含氮量最低；其次是呈贡县斗南镇，由于呈贡县斗南镇位于滇池边上，地下水位相对于另外两个地区高，地下水带走的氮素含量就显著高于另外两个地区，作物可以吸收的氮素就较少，故呈贡县斗南镇地区作物含氮量就要低于另外两个地区；最后由于盘龙江松华坝属于水源地，地下水位较高新区马金铺高，而且施肥的方式为浇灌，肥料损失严重，故其又低于高新区马金铺地区作物的含氮量。

## 4. 滇池流域四县区土壤和农作物全氮含量的关系分析

本文初步探讨滇池流域四县区土壤和农作物全氮含量的关系，现将土壤和对应的作物全氮含量作图，详见图 5。

通过相关性分析得出土壤全氮含量与作物全氮含量显著正相关( $p < 0.01$ )，Pearson 相关性指数为 0.559。也就是说，土壤中的氮含量高，则作物中的氮含量相应就高，土壤氮素含量的高低直接影响作物的产量和质量。为此，可以指导农民耕作施肥，最大化地使土壤含氮量高，那么相应的植物氮素含量就高，植物就会生长茂盛，就能丰收。但是不能为了纯粹的追求农作物丰收而忽略土壤污染和水体富营养化问题。因此在一定范围内施肥是必要的，而一般耕作土壤的含氮量在 0.2 g/kg~2 g/kg 之间[29]。本研究结果中农田含氮量几乎都超过这个范围值，主要原因在于：1) 人为干扰严重，施加了较多的农药与化肥；2) 由于采样期间云南境内遭遇百年不遇的大旱灾，土壤内的水分极少，土壤径流带走的氮素损失也就相当少；3) 由于滇池流域土壤内含有较多的具有固氮能力的微生物，加之该流域内主要种植一些豆科植物如豌豆，蚕豆，黄豆等，这些作物与共生固氮菌共同发挥作用，能够固定更多的氮，以增加土壤的含氮量。



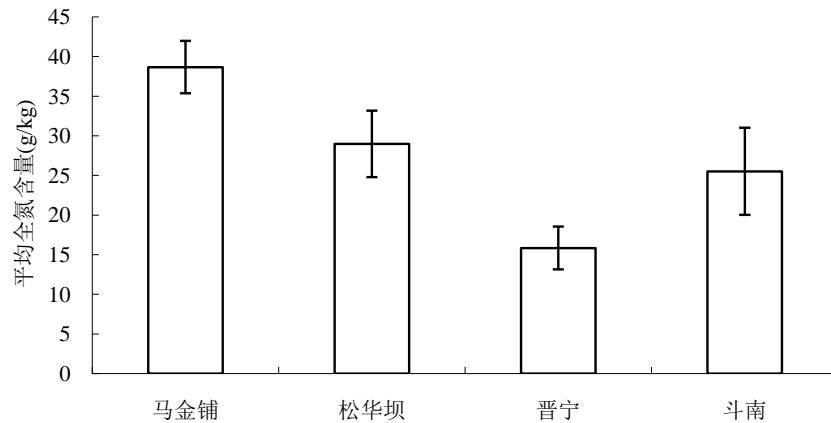


Figure 4. The average total nitrogen content of crop in four areas

图 4. 四个区域作物平均全氮含量

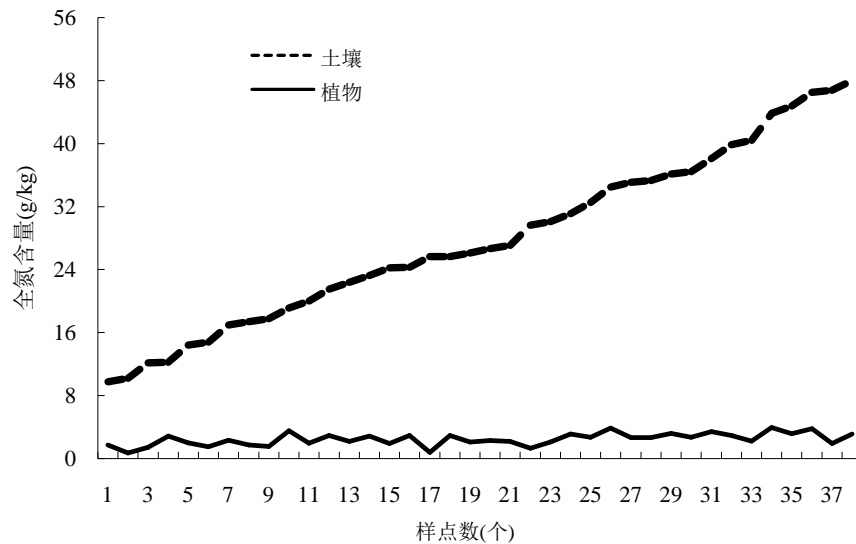


Figure 5. The relationship between the total nitrogen content of soil and crop in different sampling points

图 5. 不同采样点土壤和作物全氮含量的关系

然而根据国家林业标准植物氮的含量规定，植物氮含量10 g/kg为低量，20 g/kg为中量，大于30 g/kg为高量。本次实验中测得石竹梅氮含量较低，说明此类花卉不易吸收氮素。而生菜、洋白菜、西兰花和芹菜的氮含量均多于30.00 g/kg，都偏高，很有可能是由于农民为了增加收成，施加过多的农药与化肥。

## 5. 结论

1) 采样地区土壤全氮含量的范围是 0.23 g/kg~3.97 g/kg，在此范围内得出不同土地利用方式下土壤平均全氮含量：耕地 > 林地；不同种植模式下土壤平均全氮含量：大棚 > 传统。

2) 采样地区作物全氮含量的范围为 9.77 g/kg~46.77 g/kg，在此范围内得出不同过渡区作物平均全氮含量：坝平地 > 水源地 > 坡耕地；不同区域作物平均全氮含量：高新区马金铺 > 盘龙江松华坝 > 呈贡县斗南镇 > 晋宁县上蒜镇。

3) 不同采样点土壤全氮含量与对应作物全氮含量呈显著正相关，Pearson 相关性指数为 0.559，即土壤全氮含量高，相应的作物全氮含量高。

## 基金项目

国家重大科技水专项滇池项目第三课题(2012ZX07102-003)、云南大学生命科学学院科学研究与人才培养开放基金项目科学研究类(2013S203)。

## 参考文献 (References)

- [1] 孟裕芳 (1999) 滇池外海氮、磷含量的发展趋势分析. *云南环境科学*, **4**, 32-33.
- [2] 韩新辉, 杨改河, 佟小刚, 等 (2012) 黄土丘陵区几种退耕还林地土壤固存碳氮效应. *农业环境科学学报*, **6**, 1172-1179.
- [3] 曲卫东, 陈云明, 王琳琳, 等 (2011) 黄土丘陵区柠条人工林土壤有机碳动态及其影响因子. *中国水土保持科学*, **4**, 72-77.
- [4] 阮晓红 (2002) 非点源污染负荷的水环境影响及其定量化方法研究. 博士学位论文, 河海大学, 南京, 4.
- [5] 黄景, 顾明华, 徐世宏, 等 (2012) 稻草还田免耕抛秧对土壤剖面氮、磷、钾含量的影响. *中国农业科学*, **13**, 2648-2657.
- [6] 梁新强, 陈英旭, 李华, 等 (2006) 雨强及施肥降雨间隔对油菜田氮素径流流失的影响. *水土保持学报*, **6**, 14-17.
- [7] 张国林, 钟继洪, 曾芳, 等 (2007) 土壤磷素的流失风险研究. *农业环境科学学报*, **5**, 1917-1923.
- [8] 谢学俭, 陈晶中, 宋玉芝, 等 (2007) 磷肥施用量对稻麦轮作土壤中麦季磷素及氮素径流损失的影响. *农业环境科学学报*, **6**, 2156-2161.
- [9] 王鹏, 高超, 姚琪, 等 (2007) 环太湖典型丘陵区不同土地利用下土壤磷素随地表径流迁移特征. *农业环境科学学报*, **3**, 826-830.
- [10] 胡艳, 夏建国, 吴德勇 (2007) 川西山地不同土地利用方式下土壤磷迁移特征研究. *农业环境科学学报*, **增刊**, 141-145.
- [11] 林超文, 涂士华, 黄晶晶, 陈一兵 (2007) 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响. *生态学报*, **6**, 2191-2198.
- [12] 陈长青, 何国球, 卞新民 (2009) 红壤旱地不同种植模式下 NPK 养分动态平衡分析. *土壤通报*, **1**, 81-84.
- [13] Oh, K., Kato, T. and Xu, H.L. (2008) Transport of nitrogen assimilation in xylem vessels of green tea plants fed with  $\text{NH}_4\text{N}$  and  $\text{NO}_3\text{N}$ . *Pedosphere*, **18**, 222-226.
- [14] 李彩凤, 马凤鸣, 赵越, 李文华 (2003) 氮素形态对甜菜氮糖代谢关键酶活性及相关产物的影响. *作物学报*, **1**, 128-132.
- [15] Below, F.E. and Gentry, L.E. (1992) Maize productivity as influenced by mixed nitrogen supplied before or after anthesis. *Crop Science Society of America*, **32**, 163-168.
- [16] 曹翠玲, 李生秀 (2003) 氮素形态对小麦中后期的生理效应. *作物学报*, **2**, 258-262.
- [17] 徐家林, 别之龙, 张盛林 (2005) 不同形态氮素配比对生菜生长、品质和保护酶活性的影响. *华中农业大学学报*, **3**, 290-294.
- [18] 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣 (2007) 氮素不同形态比对菠菜体内游离氨基酸含量和相关酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*, **4**, 664-670.
- [19] 汪建飞, 沈其荣, 周毅, 董彩霞 (2008) 不同铵硝比对菠菜有机酸和淀粉含量的影响. *中国农业科学*, **4**, 1100-1107.
- [20] 杨振兴, 车丽, 普惠娟, 廖康 (2009) 不同土地利用类型对土壤全氮与碱解氮累积的影响. *广西农业科学*, **8**, 1021-1025.
- [21] Fernandez, U.O., Virto, I. and Bescansa, P. (2009) No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil and Tillage Research*, **106**, 29-35.
- [22] 仓恒瑾, 许炼峰, 李志安 (2005) 农业非点源污染控制中的最佳管理措施及其发展趋势. *生态科学*, **22**, 173-175.
- [23] Rees, R.M., Bingham, I.J., Baddeley, J.A. and Waston, C.A. (2005) The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. *Geoderma*, **128**, 130-154.
- [24] 李克让 (2000) 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环. 气象出版社, 北京.
- [25] Dalai, R.C. and Chan, K.Y. (2001) Soil organic matter in rain fed cropping systems of the Australian cereal belt. *Australian Journal of Soil Research*, **39**, 435-464.

- [26] 刘满强, 胡锋, 陈小云 (2007) 土壤铵态氮稳定机制研究进展. *生态学报*, **6**, 2642-2650.
- [27] 王晓燕, 王一岫, 王晓峰, 王振刚, 汪清平, 胡秋菊, 蔡新广 (2003) 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律. *环境科学研究*, **1**, 30-33.
- [28] McConkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A. and Lafond, G.P. (2003) Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Soil and Tillage Research*, **74**, 81-90.
- [29] 胡国松, 郑伟, 王震东, 等 (2000) 烤烟营养原理. 科学出版社, 北京, 94-118.