



东北师范大学

长白山综合性野外实习研究课题

长白山不同撂荒年限人参弃耕地植物多样性
以及环境性质的比较研究

学 院： 生命科学学院

指导教师： 李海燕

小组组长： 郭慧颖

小组成员： 王洁 刘家旭 龚姣朱 曲可欣

姜彩迪 尹大科 古丽孜汗

实习时间： 2017 年 7 月 5 日- 7 月 14 日

长白山不同撂荒年限人参弃耕地植物多样性以及环境性质的比较研究

郭慧颖¹ 王洁² 刘家旭³ 龚姣朱⁴ 曲可欣⁵ 姜彩迪⁶ 尹大科⁷ 古丽孜汗⁸

(东北师范大学生命科学学院, 长春 130024)

摘 要 群落中植物多样性和环境指标变化规律的研究是恢复演替理论的核心内容。人参栽培是长白山区重要的经济产业, 人参不能连作的特性使得人参地需要撂荒还林, 但是对于撂荒参地草本植物多样性和土壤理化性质以及空气指标的变化情况还不清楚。本实验选取撂荒4年、5年、6年、8年、10年、11年的六块弃耕样地, 调查了草本植物多样性, 测定了土壤理化性质和空气指数相关指标。通过数据分析不同撂荒年限人参地草本植物多样性的变化规律, 以及土壤和空气指数的变化趋势。结果表明: 随撂荒年限增加, 植物群落呈现出从草本群落向木本群落演替的现象, 土壤理化性质(包括酸碱度、温湿度、水分、电导率和介电常数)逐渐改善, 空气环境指标(包括温度、湿度、气压)也随撂荒年限发生了变化。

关键词 人参撂荒地 次生演替 植物多样性 土壤理化性质 空气环境

Abstract The study of the variation of plant diversity and environmental indicators in the community is the core of the restoration succession theory. Ginseng cultivation is an important economic industry in Changbai Mountain, and the characteristics of ginseng can not be continuous. It is not clear that the change of herbaceous plant diversity and soil physical and chemical properties and air index is not clear. In this experiment, six abandoned plots of 4 years, 5 years, 6 years, 8 years, 10 years and 11 years were selected, and the herbaceous plant diversity was investigated. Soil physical and chemical properties and air index were measured. The changes of herbaceous plant diversity and the trend of soil and air index were analyzed by data. The results showed that the plant community showed the succession from the herbaceous community to the woody community, and the soil physical and chemical properties (including pH, temperature and humidity, moisture, conductivity and dielectric constant) improved gradually. The air environmental index (including temperature, humidity, air pressure) also with the fallowment years have changed.

Key words Ginseng fallow land; Secondary succession; Plant diversity Soil physical and

chemical properties;

1 引言

生物多样性是衡量群落演替进程的一个重要指标, 它包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性三方面, 其中物种多样性既能表明物种演化的空间范围又能代表对特定的环境生态适应性, 所以物种多样性是研究生物多样性的基础^[1]。绿色植物能通过光合作用将环境中的无机物转化成有机物, 为其他生物提供能量, 植物不仅能固定太阳能的生产者, 而且还是土壤形成的参与者, 因此, 植物多样性是生物多样性的的重要组成部分。植物多样性的恢复是退化生态系统恢复与重建的重要内容与标志^[2]。

在群落恢复演替过程中, 由于森林类型及其所处立地环境不同, 森林与土壤相互作用过程具有复杂性。土壤有机质在改善土壤理化性质和促进养分循环方面具有重要作用, 已成为植被恢复过程中土壤变化的一个重要标志。森林采伐后, 出现地面裸露、覆盖度大大降低, 太阳辐射作用面积加大, 辐射强度和日照率相应增加, 空气、土壤间冷热变化剧烈, 蒸发加大, 温度降低, 风速增加等小气候特点^[3], 空气环境变化也成为群落恢复的重要标志。

人参 (*Panax ginseng* C.A.Meyer) 为五加科人参属植物, 干燥的根可供药用, 是一种名贵的滋补强壮药材, 有大补元气、固脱、生津、安神和益智的功效^[4]。人参喜阴湿的气候, 多生长于昼夜温差小的海拔 500-1000 米的山地缓坡或斜坡地的针阔混交林或杂木林中。人参是宿根植物, 忌地性极强, 不能连作, 种植过一茬人参的土壤在几年甚至几十年内不能再次种植。种植过人参或播过人参种子的土壤, 俗称“老参地”。连作人参会导致再次种植的人参根须脱落, 主根表面粗糙、褐变, 参根腐烂, 甚至绝收^[5]。科研工作者已经做了许多有关老参地连作障碍的研究, 结果发现, 栽培地土壤理化性状劣变、化感物质累积、根际微生态系统失调和土传病害增加等是导致人参连作障碍的重要因子^[6], 其中土壤理化性质恶化是关键因素之一。人参随着种植年限的增加会导致土壤板结变硬, 透气性差, 孔隙度减小, 颗粒粒径减小, pH 值下降等^[7]。另外, 人参选择性吸收土壤中的营养物质, 所以连作土壤中矿质元素以及有机物比例失衡。随着种植年限的增加, 土壤中有效态硼、铜、锌、铁等矿质元素不同程度降低^[8], 全氮含量、有机质含量、碳氮比以及速效磷含量降低^[9]。

人参种植在我国东北地区有着悠久的历史, 但是到目前为止, 仍摆脱不了“伐林栽参”的生产模式。林地资源锐减, 大面积裸地出现, 森林生态效益日趋减少^[10]。保护森林资源, 恢复森林生态是保证林业经济可持续发展的重要课题。参地一般使用 3-4 年后便

被废弃、撂荒。被撂荒的人参地在自然或者近自然的条件下开始植被恢复的演替过程。由于撂荒地是人为干扰引起原生植被遭到破坏后，在新环境下发生的演替，属于次生演替[11]。弃耕地植被的演替是次生演替的一个重要类型，国内外一些学者已对此做了大量工作，取得了不少有益的结论，但由于人参生长环境的特殊性，弃耕地植被演替机制可能有其特殊性。如今，参弃耕地植被恢复过程中植物多样性及土壤和空气环境变化规律的综合研究尚少见。

本实验地点露水河镇坐落于长白山西北麓，属于寒温带大陆性气候，森林覆盖率 95% 以上^[12]，植被主要是以红松为主的针阔叶混交林，土壤为山地暗棕色森林土，土质深厚、肥沃^[11]，优越的地理位置和丰富的自然资源为人参的种植提供了得天独厚的自然条件，因此，人参种植是露水河镇乃至长白山地区重要的经济产业。然而，伐林栽参为主的生产模式给当地的生态环境造成破坏，如何使老参地在自然恢复和人工恢复相结合的条件下尽快恢复到受干扰前的状态，成为人参栽培实践中的核心问题。目前，露水河镇对人参撂荒地采取自然恢复与人工恢复相结合的方式进行植被恢复。

本次实验中，通过对不同撂荒年限老参地草本群落多样性以及土壤理化性质（包括酸碱度、温湿度、水分、电导率和介电常数）和空气环境指标（包括温度、湿度、气压）的比较，分析老参地弃耕后次生演替的发展状况以及土壤理化性质和空气环境的变化趋势，探讨老参地植被恢复的过程和机制，为撂荒参地植被的恢复提供理论依据。

2 材料和方法

2.1 研究地区自然概况

本研究地点位于吉林省白山市抚松县东北部的露水河镇，长白山西北麓，东经 127°01′~128°05′，北纬 41°42′~42°49′，海拔高度 747m 。属北温带东亚季风气候。冬季漫长、寒冷，夏季多雨、气温潮热，春秋两季干燥，年平均气温 3.0℃，年平均日照时间 1965.8 小时，属典型的长白山地带气候。这些气候条件为人参的生长提供了良好的环境，从而这里成为人参的主要产地之一，被誉为著名的“人参之乡”。经过一轮人参种植形成人参撂荒地后，土壤性质各项指标会发生变化，随后出现土壤肥力下降的现象，需要人为的植入植物以帮助其完成相应的次生演替来恢复土地原有的状态。随着时间的推移，植物种类增多，其生活型也随之改变。我们本次实验是以弃耕 4 年、5 年，6 年、8 年、10 年、11 年的六块人参样地为调查对象，并以露水河镇天然的针阔混交林作为对照组。

2.2 研究方法^{[5][6]}

表 1 各人参撈荒样地地理位置

弃耕年份	经纬度	海拔
2006 年	N42°30.1123', E127°50.5524'	752m
2007 年	N42°29.9985', E127°50.8113'	760m
2009 年	N42°29.8640', E127°51.0924'	765m
2011 年	N42°35.8260', E127°55.0973'	857m
2012 年	N42°26.1715', E127°55.4863'	849m
2013 年	N42°25.0840', E127°54.9147'	839m

分别选取 4 年、5 年、6 年、8 年、10 年、11 年六块弃耕样地，每块地随机选择 5 个样点，每个样点挖 30cm×30cm×30cm 的测定样坑。清理浮土并修整剖面测定，每一坑测定时避开向阳面，以减弱阳光对土壤温度造成的影响。分别测定各项土壤理化性质指标：土壤 pH、水分、温度、湿度、电导率和介电常数，以及各项空气环境指标：空气温度、湿度、照度和气压，取样测定后重新将坑填埋。

2.2.1 土壤理化性质参数的测定

土壤参数包括土壤 pH、温度、湿度、电导率、介电常数等。土壤 pH 即土壤酸碱度；土壤温度是指地面以下土壤中的温度，而不同深度的温度不一；土壤湿度亦称土壤含水率，用来表示土壤干湿程度；土壤电导率包含了反映土壤质量和物理性质的丰富信息，是用来描述土壤盐分状况的物理量。在本次实验中我们使用土壤原位 pH 计对土壤 pH 进行了测量，使用 POGO 土壤多参数仪测定温度、湿度、电导率和介电常数。

需要注意的是在使用土壤多参数仪时要将传感器的探针部分完全的插入土壤中，避开石头、空穴及植物过多的地方以防止出现数据的误差，等待示数稳定后再记录相应数据。通过分析数据，我们可以得出不同年限人参撈荒地土壤参数的基本状况。

2.2.2 空气指标测量方法

a. 空气温度、湿度的测定

空气温度即气温，是表示空气冷热程度的物理量。空气湿度是表示空气中水汽含量和湿润程度的物理量。在本次实验中，利用便携式空气温湿度计对空气温湿度进行了测定。在使用空气温湿度计的过程中，待示数稳定后快速记录数据，通过分析记录的数据，可以了解六个不同撈荒年限人参地空气温湿度的基本状况。

b. 光照强度的测定

光照强度是指单位面积上所接受可见光的能量，简称照度。在本次实验中，我们使用了照度计对光照强度进行了测量，测量时照度计需平放且在读取数据过程中注意观测值等于读数器中显示数字与量程值的乘积。仪器在使用之前均要注意随其电量等项目的检查，以及测量数据时要避免强烈的震动和冲击。

c. 气压的测定

气压是大气压强的简称，是作用在单位面积上的大气压力。我们使用便携式小气候仪对气压进行测定，通过分析记录的数据，可以了解不同人参撿荒地的气压变化情况。

2.2.3 植物多样性研究方法

物种多样性是指地球上生物有机体的多样化。物种多样性有两种涵义：其一是种的数目或丰富度；其二是种的均匀度。多样性指数正是反映丰富度和均匀度的综合指标，测定多样性的公式有很多，这里使用了较有代表性的辛普森多样性指数。

草本植物多样性调查我们采用样方法和样圆法。在样地内均匀布置 5~10 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方，用呼啦圈随机选取样圆。记录样方和内所有草本植物的个体数，盖度（现场估测）、高度（钢尺量）、密度（现场数）、频度，生物量（带回处理）。如果现场做不完，就将地上草本植物多样性调查我们采用样方法，频度的测定采用样圆法。在样地内均匀布置 5~10 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方。记录和测定样方内所有草本植物的个体数、盖度、高度、密度、生物量。频度测定时，随机抛出样圆 20 次，记录样圆内出现的植物种类（不考虑其个体数量）某一种植物出现的样方数占总样方数的百分比就是该植物种的频度。最后以多个样方内同种植物个体数的平均值计算相应的多样性指数。

2.3 数据统计分析方法

植物多样性指标：将记录的数据输入利用 Excel 进行分析，制作柱状图，并计算各个样地的 Partrick 丰富度指数和辛普森多样性指数。

Partrick 丰富度指数：用来比较样地物种总数多少，计算公式为： $R=S$ （ S 是样地内物种总数）^[13]。

辛普森多样性指数：是基于在一个无限大小的群落中，随机抽取两个个体，他们属于同一物种的概率是多少这样的假设而推导出来的，能够反映物种丰富度和均匀度。计算公式为： $D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$ ^[13]。

土壤、空气指标统计分析：利用 SPSS 进行分析，进行单因素方差分析和多重比较，多重比较时采用 Duncan 和 Tamhane’ s T2 的方法比较彼此间差异。

3 结果分析

3.1 植物种类组成和生物多样性

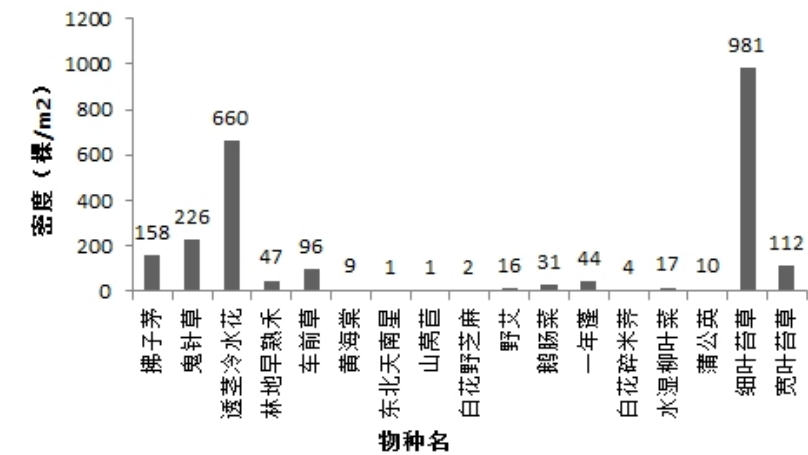


图 1 撂荒 4 年人参地植物组成

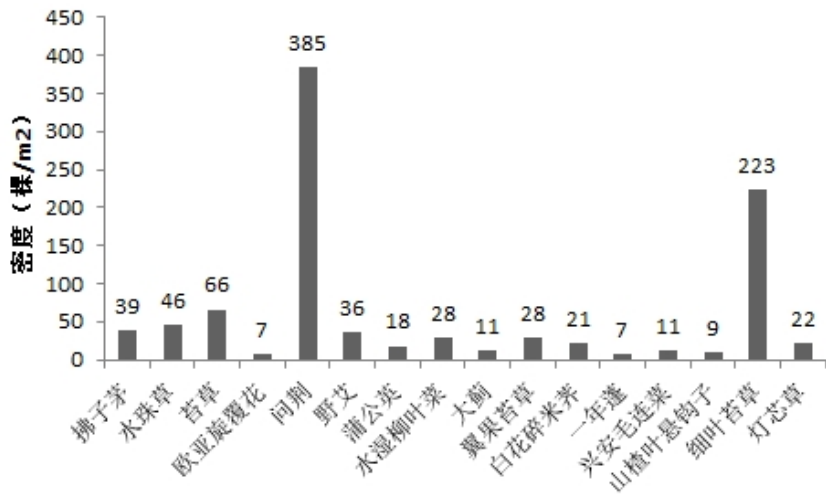


图 2 撂荒 5 年人参地植物组成

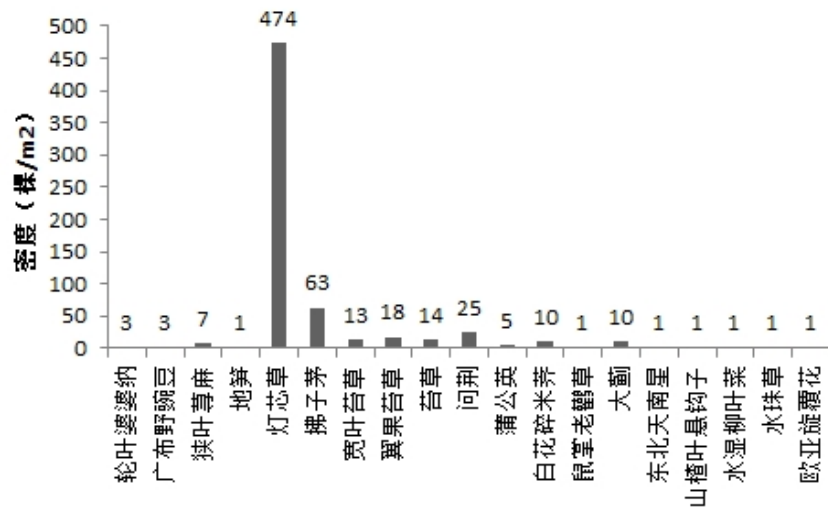


图3 撂荒6年人参地植物组成

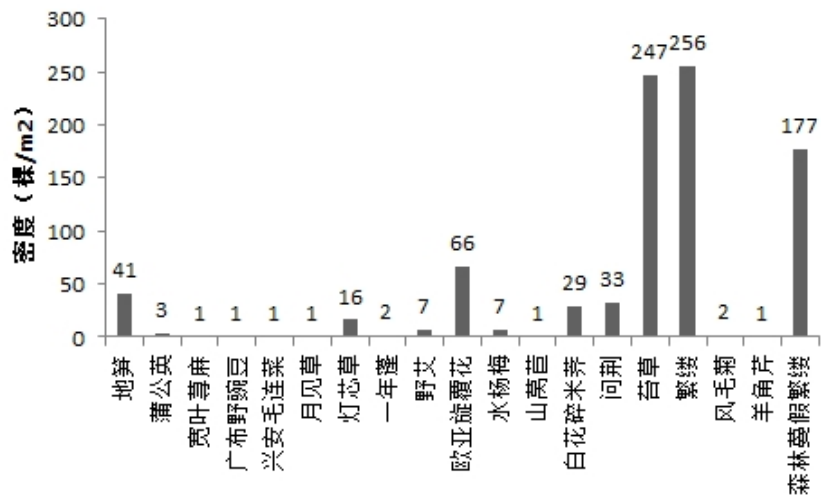


图4 撂荒8年人参地植物组成

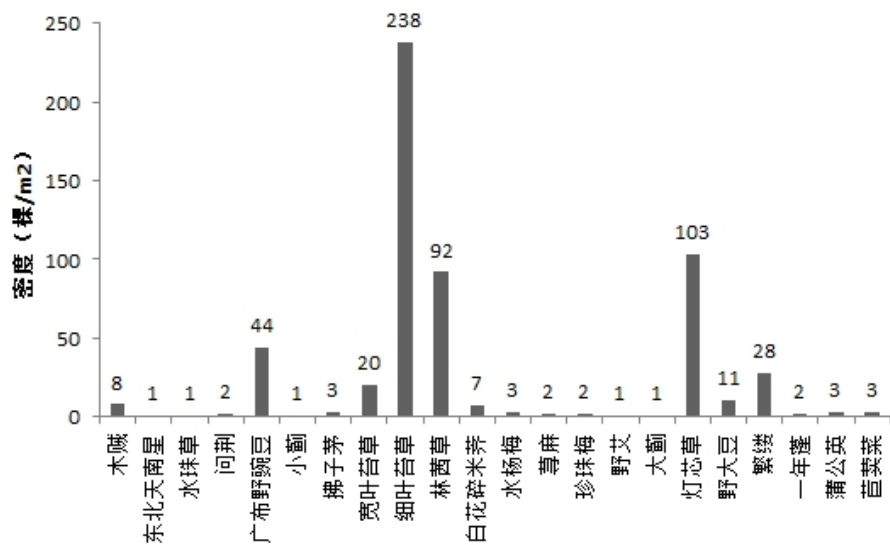


图5 撂荒10年人参地植物组成

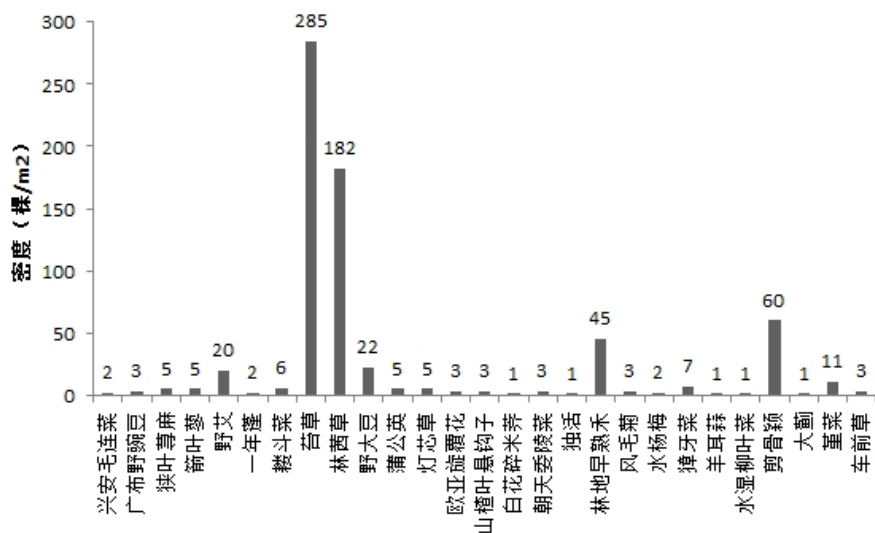


图6 撂荒11年人参地植物组成

表2 人参撂荒地植物多样性参数

	撂荒4年	撂荒5年	撂荒6年	撂荒8年	撂荒10年	撂荒11年
物种数	17	16	19	19	22	27
Simpson 指数	0.7425	0.7702	0.4583	0.7911	0.7615	0.7431

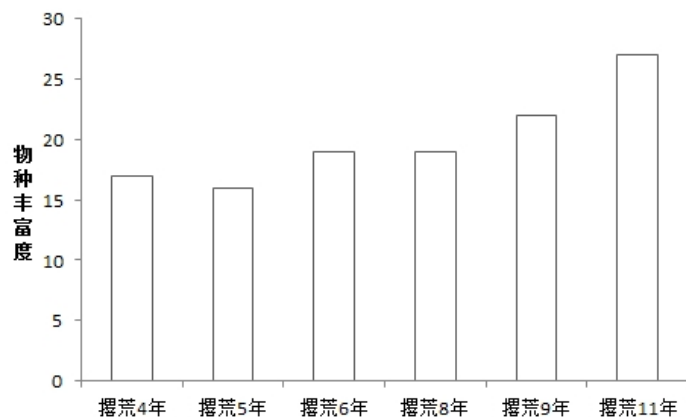


图7 人参撂荒地物种丰富度

根据统计显示，本实验调查样方中，撂荒4年样地主要植物种是细叶苔草和透茎冷水花；撂荒5年样地主要植物种是问荆和细叶苔草；撂荒6年样地主要植物种是灯芯草；撂荒8年样地主要植物种是苔草、繁缕和森林蔓假繁缕；撂荒10年样地主要植物种是细叶苔草、灯芯草和林茜草；撂荒11年样地主要植物种是苔草和林茜草。物种丰富度越来越高，且优势种也更加突出、明显。

根据表2和图7，以 Partrick 丰富度指数作为度量植物丰富度水平的参考数值可以看出，指数变化出现先下降后上升的现象。由于随着演替的进行植物所能利用的资源（如水

分，阳光，土壤）总量是一定的，所以种间竞争加剧，导致物种多样性下降；又由于演替过程中出现了木本植物，使得草本植物层在植物竞争中占有劣势，因而丰富度下降。随着撂荒年限的增加，植物群落物种多样性逐渐上升，丰富度随之逐渐增加。根据表 2，通过计算辛普森多样性指数代表植物多样性，发现随着撂荒年限的增加，植物多样性呈现先降低再增加的趋势，由于多样性指数可以表示丰富度和均匀度两方面的性质，并且发现物种丰富度变化趋势并没有指数表现得明显，说明是另一方面均匀度表现为较明显的下降再上升。

3.2 土壤指标

3.2.1 土壤 pH

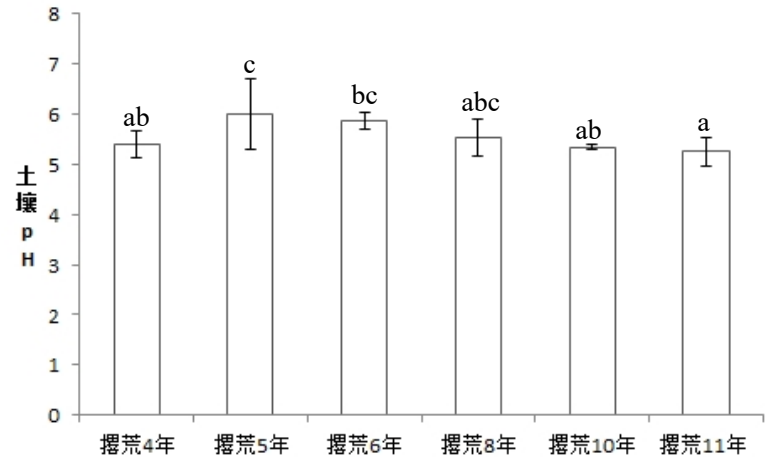


图 8 土壤 pH 随人参撂荒地撂荒年限的变化

土壤 pH 是指即为土壤液的 pH 值 pH 即指酸碱度。根据柱状图可以看出，撂荒 5 年至撂荒 11 年土壤 pH 呈下降趋势。根据单因素方差分析和多重比较结果可知，撂荒 5 年与撂荒 11 年差异最为显著。原因是，随着弃耕年限的逐渐增加，土壤有机质含量增加，改善土壤理化性状，增强土壤保水能力，可洗淋排除土壤中的盐分，从而降低 pH 值。

3.2.2 土壤温度

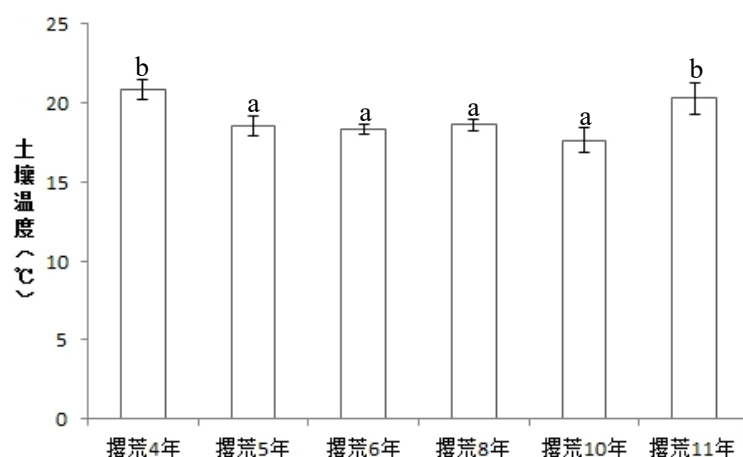


图9 土壤温度随人参撂荒地撂荒年限的变化

根据柱状图可以看出，撂荒4年样地至撂荒10年样地的温度呈下降趋势。根据各个样地植物多样性的分析已知撂荒4年样地至11样地的物种丰富度呈上升趋势。根据单因素方差分析和多重比较结果可知，撂荒5、6、8、10年样地与撂荒4、11年数据差异显著。因为物种丰富度越高，群落总光合能力越强，群落总新陈代谢能力较强，因此固定水分增多，由于水的比热容大，吸热能力强，因此造成土壤温度降低。除此之外，群落物种丰富度越高，郁闭度越大，阳光照射面积越小，土壤水分蒸发越少，所以土壤温度就越低。

综上所述，在撂荒4年至10年样地，土壤温度呈下降趋势，可以得出，随着撂荒时间的增加，物种丰富度增加，土壤温度随之下降。

3.2.3 土壤含水量

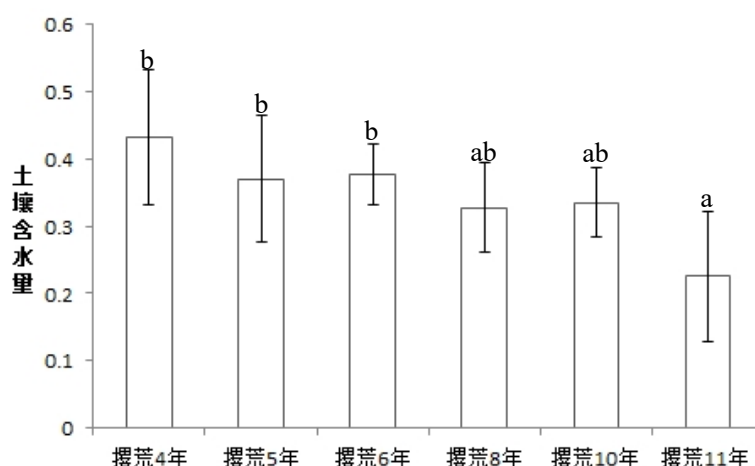


图10 土壤含水量随人参撂荒地撂荒年限的变化

土壤湿度亦称土壤含水率，用来表示土壤干湿程度。土壤含水量是土壤中所含水分的数量。一般是指土壤绝对含量，即100g烘干土中含有若干克水分，也称土壤含水率。

Losstan 为损耗因数，它表现了土壤水分的散失量，与温度、植物固水能力等有关。

根据图 10 可以看出，撂荒 4 年样地至撂荒 11 年样地土壤含水量大致呈下降趋势，且撂荒 4、5、6 年的样地含水量不相上下，撂荒 8、10、11 年的样地含水量较低。根据单因素方差分析和多重比较结果可知，撂荒 4、5、6 年与撂荒 11 年样地数据差异显著。原因是，8、10、11 年样地在下雨前采样测量数据，而 4、5、6 年样地在雨后进行采样测量数据，因此雨后测量含水量较高。而大量研究中表明，由于物种丰富度逐渐上升导致群落总光合能力增强，造成群落总新陈代谢能力较强，所以固定水分多，降低了土壤水分的损耗，土壤的含水量较高；另外，群落物种丰富度越高，郁闭度越大，阳光照射面积越小，土壤水分蒸发越少，所以水分损耗减少，土壤含水量升高。

综上所述，土壤含水量实际应随撂荒年限的增加而上升，这与物种丰富度，优势种类型有关。

3.2.4 土壤电导率

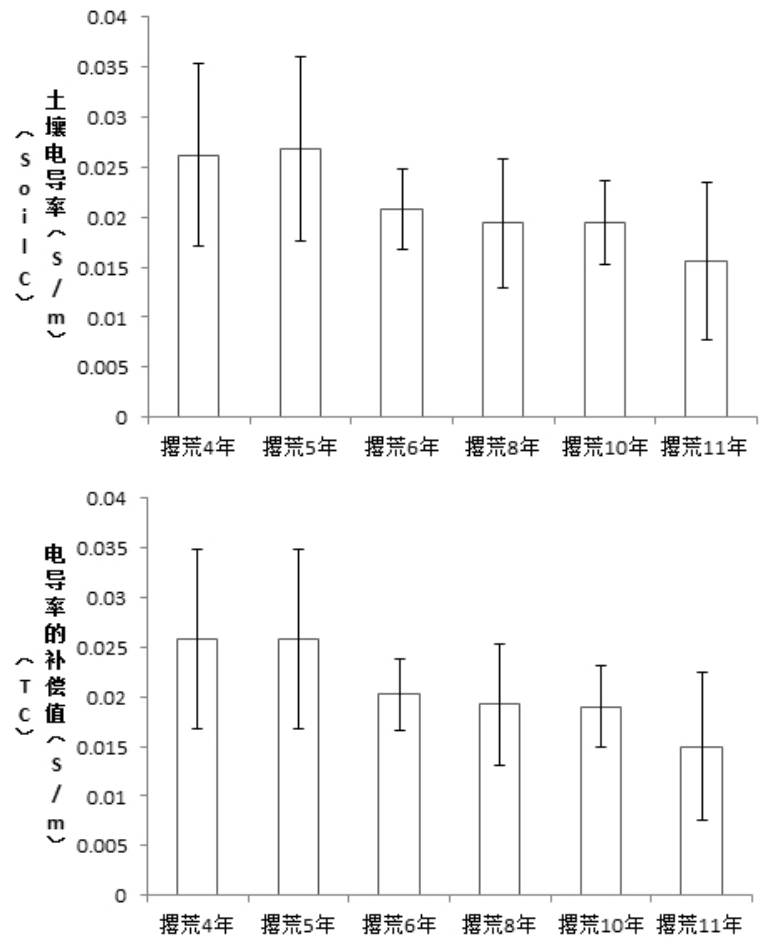


图 11 土壤电导率随人参撂荒地撂荒年限的变化

土壤中的总盐量是表示土壤中所含盐类的总含量。由于土壤的盐分状况是由自然条件

下当地的气候、地貌、水文及水文地质诸因素所决定的。而撂荒参地的位置相对靠近，所以此时土壤盐分的变化可忽略不计，电导率的变化主要与含水量的变化有关。由单因素方差分析结果可知， $\alpha < 0.05$ ，电导率在不同弃耕年限人参弃耕地间无显著差异。

土壤电导率与土壤水分呈现相同的变化趋势。

3.2.5 介电常数

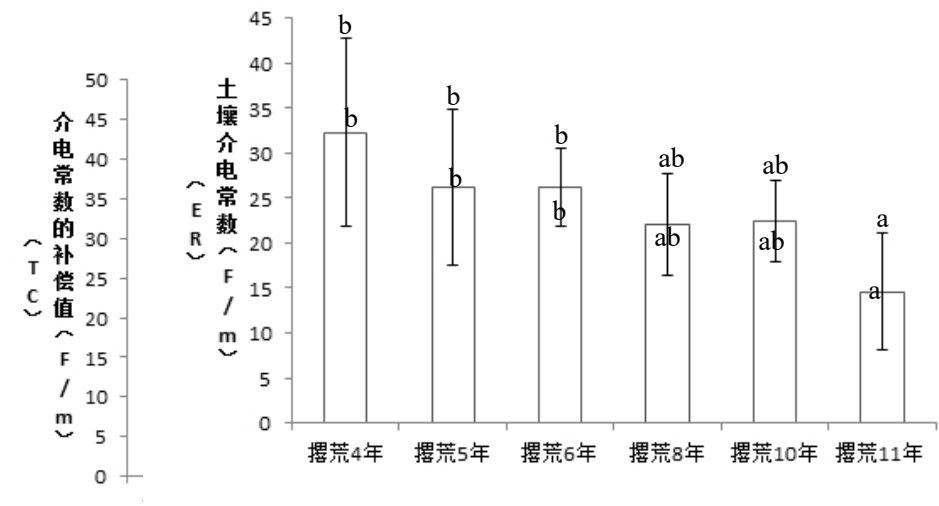


图 12 介电常数随人参撂荒地撂荒年限的变化

如图 12 所示，土壤的介电常数变化趋势与土壤含水量变化趋势一致，呈下降趋势。根据单因素方差分析和多重比较结果可知，与土壤含水量一致，撂荒 4、5、6 年与撂荒 11 年样地数据差异十分显著。根据研究发现，土壤的介电常数受土壤含水量、土壤的温度、土壤质地、土壤容重、可溶盐含量等多种土壤特性的影响，但是在这些因素中土壤含水量的影响占主导地位。土壤的介电常数随含水量的增加而增大。Her-kehrath 等研究认为在一定的含水量范围内土壤含水量与介电常数的平方根呈线性相关关系,并提出以下通用关系式: $\theta = a \sqrt{ER} - b$ (式中, a 、 b 为校正参数)。由公式我们可以得出结论，介电常数 ER 应与含水量的变化趋势一致。

3.3 空气指标

3.3.1 空气温度

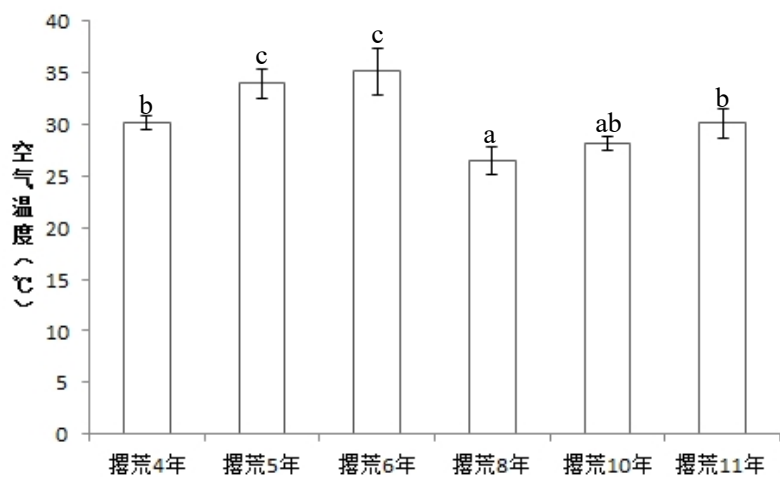


图 13 空气温度随人参撿荒地撿荒年限的变化

根据柱状图以及数据显示，撿荒 4 年至 11 年样地空气温度总体变化呈下降趋势。根据单因素方差分析和多重比较结果可知，撿荒 8 年与撿荒 5、6 年样地数据差异显著。根据样地外貌显示，六块样地的物种丰富度逐渐上升，物种丰富度越高，群落总光合能力越强，气孔开放度大，蒸腾作用消耗水量大，所以空气中含水量较大，温度较低。这所以人参撿荒地年限越高，空气温度越低。另外，撿荒年限越高，群落物种丰富度越高，郁闭度越大，温度就越低。

综上所述，空气温度随撿荒年限的增加而下降，这与物种丰富度，优势种类型有关。

3.3.2 空气湿度

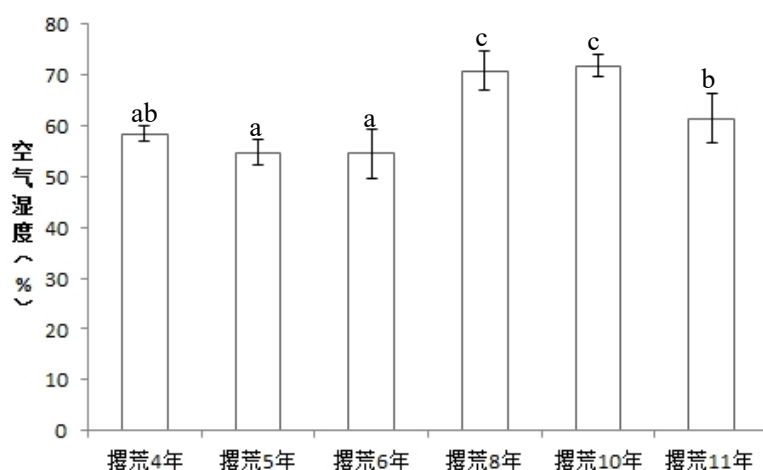


图 14 空气湿度随人参撿荒地撿荒年限的变化

空气湿度即为空气含水量。根据图 14，空气湿度近似逐渐上升，根据单因素方差分析和多重比较结果可知，撿荒 5、6 年样地与撿荒 8、10 年样地数据差异显著。因为六块样地的物种丰富度逐渐上升，物种丰富度越高，群落总光合能力越强，气孔开放度大，蒸腾作用消耗水量大，所以空气中含水量较大。

总之，空气湿度随人参撂荒地撂荒年限增长而上升。

3.3.3 光强

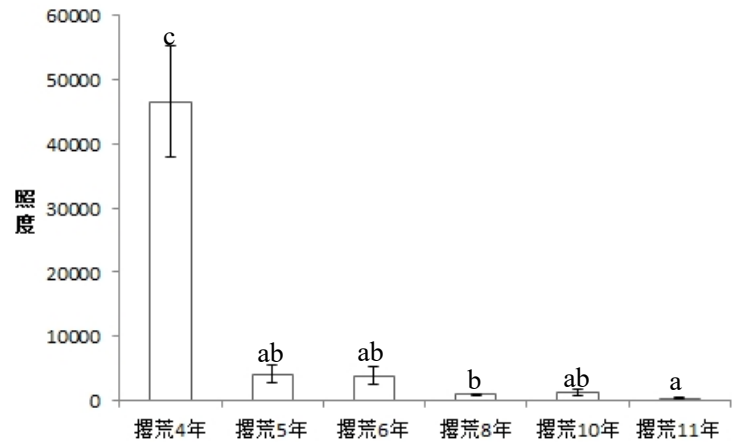


图 15 光强随人参撂荒地撂荒年限的变化

由图 15 可知，整体上，随撂荒年限的增长照度呈逐年降低趋势，根据单因素方差分析和多重比较结果可知，撂荒 4 年与撂荒 11 年样地数据差异显著。因为自然演替的进行，使人参撂荒地的物种丰富度大幅度提升，植被覆盖率提高，演替时间越长的样地植被生长越旺盛，其中 8、10、11 年撂荒地中还生长了许多的乔木，使得林间郁闭度升高。

3.3.4 气压

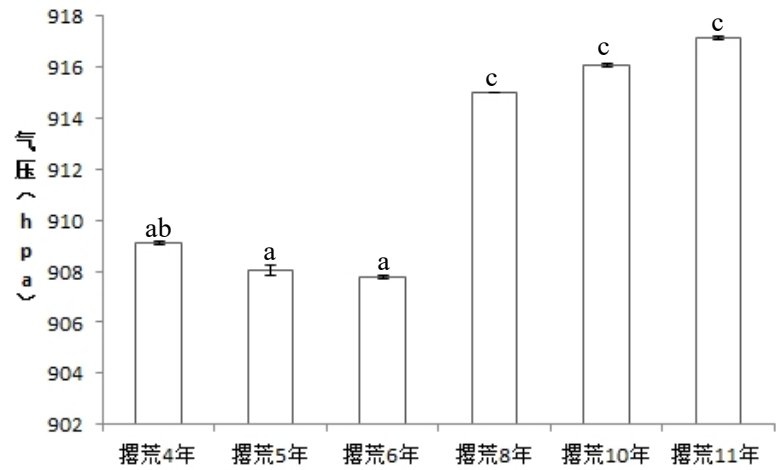


图 16 气压随人参撂荒地撂荒年限的变化

图中气压显示差别较为明显，撂荒 4、5、6 年样地近似，撂荒 8、10、11 年样地近似，根据单因素方差分析和多重比较结果可知，撂荒 5、6 年样地与撂荒 8、10、11 年样地气压差异显著。

3 结论与讨论

植物群落的演替过程中，随着群落组成的变化，各个物种在群落中的地位和作用也在逐渐改变，一些物种能保存下来，一些物种被淘汰，新的物种出现^[14]。根据早期研究，由于随着撂荒年限的增加，一些物种逐渐在环境中占据了优势，成为了优势种，所以人参撂荒地多样性下降，后来随木本植物数量增多，草本植物得到的光照减少，原来的优势种优势不再突出，种间竞争变得更加均衡，因而多样性升高。在植物群落的次生演替过程中，物种多样性不断发生变化^[15]。

本实验调查多年人参撂荒地植物多样性，发现物种丰富度及植物多样性呈先下降后上升的趋势，而根据研究显示，在演替过程中植物多样性应呈现上升现象^[15, 16, 17]，与本研究结果有一定差异，分析原因认为撂荒地在演替过程中的草本阶段时，由于草本植物群落结构不稳定，波动性大^[18]，会使得草本植物多样性呈现不规则的变化。植物群落的演替是一个长期的过程，此次调查的撂荒地相隔时间较短，许多结论有待进一步论证，要想得到更好更快地使撂荒地恢复到开垦前状态的方法，还需要后续开展更加深入的研究。

本实验通过调查撂荒 4 至 11 年的人参撂荒地小气候的测定，发现 4 年到 11 年间，土壤 pH、温度、含水量、土壤电导率、土壤介电常数、光强呈现下降的趋势，而空气湿度则呈现上升的趋势，空气温度和气压保持大致相同。

早期研究表明，在演替过程中，由于物种丰富度逐渐上升导致群落总光合能力增强，造成群落总新陈代谢能力较强，所以固定水分多，降低了土壤水分的损耗，土壤的含水量较高；另外，群落物种丰富度越高，郁闭度越大，阳光照射面积越小，土壤水分蒸发越少，所以水分损耗减少，土壤含水量升高。土壤电导率是描述土壤浸出液中土壤盐分状况的指标，土壤中盐分、水分及有机质含量，土壤压实度、质地结构和孔隙率等都不同程度地影响着土壤电导率的改变。在以上诸因素中，土壤盐分和含水率对电导率的影响明显大于其他各因素。因此，电导率、介电常数等指数应伴随含水量出现上升现象。但是，由于郁闭度增大，受到太阳光照射减少，获得的能量减少，空气温度等指数应出现下降现象。然而以上数据与本次实验数据有一定的出入。分析原因，由于数据在采集时间以及地点不同，且采集过程中有一次降雨，导致数据产生一定误差；另外可能由于采集地点靠近林场边缘，不具有强烈的代表性而造成误差。因此若包容误差，从整体来看，本次实验所调查的不同年限人参撂荒地小气候的变化过程基本符合普遍规律。

参考文献

- [1] 张桂萍. 生物多样性现状及其保护 [J]. 晋东南师范专科学校学报, 2001, (03): 38—40.
- [2] 李裕元, 邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化 [J]. 生态学报, 2004, (02): 252—260.
- [3] 杨玉坡, 周德彰, 梁罕超, 等. 川西高山林区采伐迹地生态因子的变化与营林更新技术措施的研究. 见: 李承彪. 四川森林生态研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社: 153-173
- [4] 杨继祥, 田义新. 药用植物栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社. 2004, 141—190.
- [5] 张连学, 朱桂香, 王铁生. 人参栽培技术及其应用基础的研究 [M] // 王本祥. 人参研究进展. 天津: 天津科学技术出版社, 1991: 255—260.
- [6] 玲玲. 人参连作障碍影响因素及土壤改良技术研究 [D]. 烟台: 烟台大学, 2016.
- [7] 曹志强, 金慧, 许永华, 宋心东, 娄子恒, 曹立军, 潘晓鹏, 张达正. 老参地连续种参试验报告 [J]. 中药材, 2004, (08): 554—555.
- [8] 于德荣, 王韵秋, 孟繁莹, 赵昌德. 新林土和老参地土壤微量元素的测定 [J]. 土壤通报, 1983, (04): 32—33.
- [9] 王荣生. 老参地栽参问题的综述 [J]. 特产科学实验, 1979, (04): 1—7.
- [10] 许永华, 宋心东, 于淑莲, 裴春红. 吉林省参业对自然资源的影响及可持续发展对策 [J]. 人参研究, 2004, (04): 15—17.
- [11] 邢福; 巴雷; 李海燕. 东北师范大学长白山实习生态学指导. 2013.
- [12] 王芬, 周旺明, 代力民, 仲庆林. 露水河林业局森林资源变化浅析 [J]. 沈阳师范大学学报 (自然科学版), 2016, 34 (03): 296—299.
- [13] 牛翠娟; 娄安如; 孙儒泳; 李庆芳. 基础生态学. 2015.
- [14] 张金屯, 柴宝峰, 邱扬, 陈廷贵. 晋西吕梁山严村流域撂荒地植物群落演替中的种多样性变化. 生物多样性, 2000, 8(4): 378—384.
- [15] 刘秀珍, 张峰, 张金屯. 管涔山撂荒地植物群落演替过程中物种多样性研究. 武汉植物学研究, 2008, 26 (4): 391—396
- [16] 王军. 左家自然保护区植物群落特征及其演替研究. 东北师范大学硕士学位论文, 2007 年 5 月
- [17] 宝军, 赵晓光, 党小虎等. 陕北黄土丘陵区退耕地植物群落演替特征. 中国水土保持科学, 2012, 10(5): 77—83.
- [18] 杜峰, 山仑, 陈小燕, 梁宗锁. 陕北黄土丘陵区撂荒演替研究——撂荒演替序列. 草地学报, 2005, 13(4): 328—333.