秦岭三官庙管护站人工林与次生林植物群落差异初步研究

摘要

本研究以秦岭佛坪国家级自然保护区三官庙管护站为研究区域，采用样方法对人工林与次生林的乔木层、灌木层和草本层开展植物群落调查，并将不同规格样方的调查数据统一换算至 100 ㎡ 标准面积，在此基础上计算香农多样性指数与辛普森多样性指数，比较两种林型的物种丰富度与群落均匀度。结果表明：在乔木层、灌木层和草本层三个层次上，次生林的香农指数（1.56、2.03、1.25）与辛普森指数（0.76、0.84、0.63）均高于人工林（0.39、1.49、1.17 与 0.23、0.71、0.57），其中灌木层差异最为突出。人工林因造林树种单一，各层次均呈现优势种垄断格局；而自然演替形成的次生林群落结构更复杂、物种分布更均匀。据此提出对人工林实施近自然化改造、将次生林分布区划为优先保护区域并建立长期固定监测样地等建议。

关键词：秦岭；人工林；次生林；植物群落；香农多样性指数；辛普森多样性指数

1. 引言

1.1 研究背景

秦岭是我国重要的生态屏障和南北地理分界线，生物资源丰富，生态地位十分重要。佛坪国家级自然保护区位于秦岭腹地，区内分布着大量次生林，主要分为自然次生林和人工次生林两类。受自然演替和人工造林的影响，两种森林的生长状态、植物种类存在明显区别。

为直观了解不同恢复方式对森林植被的影响，我们通过野外样方调查，对比两类林地的植物物种差异，开展本次研学研究。

1.2 研究目的

1. 通过实地样方调查，记录佛坪保护区人工次生林与自然次生林内的植物物种情况。
2. 对比分析两种林地的物种丰富度和多样性差异，观察不同森林的植被恢复效果。
3. 简单探究人工造林和自然恢复两种模式对秦岭次生林生态环境的影响，积累野外生态调查经验。

1.3 研究意义

（一）理论意义

这一次研学调查可以补充秦岭局部区域次生林的实地物种数据，直观体现人工林和自然林的群落差异，能够加深我们对森林演替、生物多样性保护的理解。

（二）现实意义

根据这次研究，我们可以直观对比两种林地的恢复状况，帮助我们了解自然恢复与人工造林的优缺点。同时其也能够提高我们的野外观察、数据统计和科学探究能力，树立保护秦岭生态环境的意识。

2. 研究区域与方法

2.1 研究区域概况

地理位置：陕西省汉中市佛坪县三官庙管护站

气候特征：暖温带向亚热带过渡的季风气候

海拔范围：1799 m－1927 m

2.2 样地设置

人工林：明显的人工栽植痕迹（树种单一、行株距规则），分布于退耕还林区

次生林：采伐迹地或弃耕地自然恢复形成，树种组成混杂、林龄不一、无明显栽植痕迹

2.3 调查方法

采用样方法开展调查。

样方设置

在每条样线的不同海拔高度设置代表性样方。代表性样方不能跨越河滩、道路，且不能设置在林缘。分别在样线起始位置和结束位置附近设置一个样方，然后根据样线上的海拔范围，分别设置样方。样地大小分别为：乔木林为 10 m × 10 m，灌丛为 5 m × 5 m，草地为 1 m × 1 m。

调查对象

乔木层记录指标：乔木的种类、数量、高度、胸径、冠幅。

灌木层记录指标：灌木的种类、数量、高度、冠幅、盖度。

草本层记录指标：草本的种类、数量、平均高、盖度。

2.4 样方处理方法

2.4.1 香农多样性指数

定义：香农多样性指数（Shannon's diversity index）用来估算群落多样性的高低，也叫香农-维纳（Shannon-Wiener）或香农-韦弗（Shannon-Weaver）指数。公式如下：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln p_i$$

其中：S 为样方内的物种总数，p_i 为第 i 个物种的个体数占群落总个体数的比例。

取值范围：$H' \geqslant 0$，且无固定上限。当群落中只有一个物种时，$H' = 0$；物种数量越多、个体分布越均匀，H' 越大；当各物种的个体数完全相等时，H' 达

到最大值 ln S。因此该指数可以灵敏地反映群落多样性的变化。

影响因素：

物种丰富度（Richness）：样方内的物种数量。种类越多，H' 越高。

物种均匀度（Evenness）：个体在各物种间的分布是否均匀。分布越均匀，H' 越高；如果一个林子里 90% 都是落叶松，剩下的 10% 分给其他 50 个物种，它的 H' 会显著低于物种分布均衡的林子。

2.4.2 辛普森多样性指数

定义：辛普森多样性指数（Simpson's diversity index）基于优势度概念：从群落中随机抽取两个个体，属于同一物种的概率记为 D，则 $H_s = 1 - D$ 表示它们属于不同物种的概率，用来衡量群落多样性的高低。公式如下：

$$D = \sum_{i=1}^{S} \left(\frac{n_i}{N}\right)^2, \quad H_s = 1 - D$$

其中：n_i 为第 i 个物种的个体数，N 为群落总个体数，S 为物种总数。

取值范围：$0 \leqslant H_s \leqslant 1$。$H_s$ 越接近 1，群落多样性越高，优势种不明显，物种分布越均匀；H_s 越接近 0，多样性越低，少数优势种占据绝对主导。

影响因素：

优势种集中度（Dominance）：少数优势种的个体数占比越高，H_s 越低。

物种均匀度（Evenness）：个体在各物种间的分布越均匀，H_s 越高。

2.4.3 两种指数的比较

敏感对象：辛普森指数侧重优势种影响，对常见大种群敏感度高——少数物种占比暴涨时，指数会快速下降；香农指数侧重物种丰富度，对稀有种敏感度更高——新增稀有物种时，指数提升更明显。

取值特点：辛普森指数取值区间为 [0, 1]，越接近 1 多样性越高；香农指数取值无固定上限，物种越多、分布越均匀，数值越大。

适用场景：辛普森指数适用于评估群落稳定性、优势物种垄断程度与生态受破坏程度;香农指数适用于统计物种丰富程度、稀有物种保育与群落物种复杂度分析。

在本研究中的预期表现：人工林多为特定目的（如木材、水土保持）栽植，树种单一，顶层乔木遮光严重且受林地管理干扰，林下物种组成单一且分布不

均，两种指数通常均偏低；次生林经历长期自然演替，物种通过竞争与协作占据不同生态位，物种丰富且分布较均匀，两种指数通常均较高。

3. 研究结果

3.1 计算过程

本研究按群落层次设置不同规格样方：乔木层采用 10 m × 10 m（次生林）与 5 m × 20 m（人工林），灌木层采用 5 m × 5 m（次生林）与 5 m × 15 m（人工林），草本层均采用 1 m × 1 m。由于不同层次及不同林型间样方面积存在差异，为消除面积效应、实现物种密度与个体密度的横向可比，本研究将各层次调查数据统一换算至 100 m² 标准面积。

具体换算方法如下：

层次	人工林原始样方	次生林原始样方	换算到 100 m² 的系数
乔木层	5m×20m = **100 m²** (1 个)	10m×10m = **100 m²** (2 个)	已统一，无需换算
灌木层	5m×15m = **75 m²** (1 个)	5m×5m = **25 m²** (2 个)	人工林 ×100/75 = **×1.333**；次生林 ×100/25 = **×4**
草本层	1m×1m = **1 m²** (5 个)	1m×1m = **1 m²** (10 个)	均 ×100

3.1.1 辛普森

辛普森多样性指数计算公式为：$H_s = 1 - \sum_{i=1}^{S} \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$ ，其中 n_i 为第 i 个物种的个体数，N 为群落总个体数，S 为物种总数。

（1）乔木层

人工林（5 m × 20 m，100 m²）：记录红桦 4 株、日本落叶松 26 株，

N=30 。$D = (\frac{4}{30})^2+(\frac{26}{30})^2 = 0.0178 + 0.7511 = 0.7689$

H_s =1− 0.7689 = 0.2311

次生林（2 个 10 m × 10 m 样方，各 100 m²）：

- **第一样方**：铁杉 1、锥腺樱桃 1、刺叶栎 4、秦岭白蜡树 2、三亚乌药 1、锐齿栎 2、甘肃山楂 1，N=12 。

  D_1= $\frac{1+1+16+4+1+4+1}{144}$ = 0.1944，H_{s1}=0.8056

- **第二样方**：权叶槭 1、枫杨 2、五角枫 3、秦岭白蜡树 2，N=8 。

  D_2= $\frac{1+4+9+4}{64}$ = 0.2813，H_{s2}=0.7188

次生林乔木层平均辛普森指数：H_s = $\frac{0.8056+0.7188}{2}$ =0.7622 。

（2）灌木层

人工林（5 m × 15 m，75 m²）：记录华北绣线菊 7、宝兴茶藨子 1、唐古特忍冬 3、山梅花 1、高丛珍珠梅 1、角翅卫矛 2，N=15。

D=$\frac{49+1+9+1+1+4}{225}$=0.2889，H_s = 0.7111

次生林（2 个 5 m × 5 m 样方，各 25 m²）：

- **第一样方**：直穗小檗 1、喜阴悬钩子 6、纤齿卫矛 1、桦叶荚蒾 5、灰栒子 1、唐古特忍冬 2、南方六道木 8、山梅花 1、鞘柄菝葜 1、宝兴茶藨子 1、秦岭箭竹 1，N=28。

  D_1= $\frac{1+36+1+25+1+4+64+1+1+1+1}{784}$ = 0.1735，H_{s1}=0.8265

- **第二样方**：粉背溲疏 1、唐古特忍冬 2、钝叶蔷薇 2、大花五味子 2、宝兴茶藨子 5、喜阴悬钩子 4、桦叶荚蒾 1、顶花板凳果 1、蜀五加 4，N=22。

  D_2= $\frac{1+4+4+4+25+16+1+1+16}{484}$ = 0.1488，H_{s2}=0.8512

次生林灌木层平均辛普森指数：H_s=$\frac{0.8265+0.8512}{2}$ = 0.8389。

（3）草本层

人工林 5 个 1 m × 1 m 样方分别计算后取平均。各样方辛普森指数分别为：0.5224、0.6845、0.5249、0.7390、0.3895，平均 H_S=0.5721 。

次生林 10 个 1 m × 1 m 样方分别计算后取平均。各样方辛普森指数分别为：0.6786、0.4800、0.6848、0.5569、0.6430、0.6800、0.5312、0.6250、0.6200、0.7500，平均 H_S=0.6250 。

3.1.2 香农

香农多样性指数计算公式为：$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \ln p_i$ ，其中 $p_i=n_i/N$ 。

（1）乔木层

人工林：$p_{红桦}$=4/30=0.1333 ，$p_{落叶松}$=26/30=0.8667 。

H'=−(0.1333×ln0.1333+0.8667×ln0.8667) = 0.3927

次生林：

- 第一样方：H_1'= $-(\frac{1}{12}\ln\frac{1}{12} + \frac{1}{12}\ln\frac{1}{12} + \frac{4}{12}\ln\frac{4}{12} + \frac{2}{12}\ln\frac{2}{12} + \frac{1}{12}\ln\frac{1}{12} + \frac{2}{12}\ln\frac{2}{12} + \frac{1}{12}\ln\frac{1}{12}) = 1.7918$
- 第二样方：$H_2'= -(\frac{1}{8}\ln\frac{1}{8} + \frac{2}{8}\ln\frac{2}{8} + \frac{3}{8}\ln\frac{3}{8} + \frac{2}{8}\ln\frac{2}{8}) =1.3209$

次生林乔木层平均香农指数：H'=(1.7918+1.3209)/2=1.5564 。

（2）灌木层

人工林：$H'= -(\frac{7}{15}\ln\frac{7}{15} + \frac{1}{15}\ln\frac{1}{15} + \frac{3}{15}\ln\frac{3}{15} + \frac{1}{15}\ln\frac{1}{15} + \frac{1}{15}\ln\frac{1}{15} + \frac{2}{15}\ln\frac{2}{15})$ = 1.4878 。

次生林：

- 第一样方：H_1'=2.0171
- 第二样方：H_2'=2.0345

次生林灌木层平均香农指数：H'=(2.0171+2.0345)/2=2.0258 。

（3）草本层

人工林 5 个样方香农指数分别为：1.0076、1.6522、0.9706、1.3322、0.8789，平均 H'=1.1683 。

次生林 10 个样方香农指数分别为：1.5836、0.9183、1.6215、1.0114、1.4985、1.2458、0.8256、1.1562、1.2033、1.4110，平均 H'=1.2475 。

3.2 计算结果

层次	林型	物种密度（种/100 m^2）	个体密度（株/100 m^2）	香农指数（H'）	辛普森指数（H_S）
乔木层	人工林	2.00	30.00	0.39	0.23
乔木层	次生林	5.50	10.00	1.56	0.76
灌木层	人工林	8.00	20.00	1.49	0.71
灌木层	次生林	40.00	100.00	2.03	0.84
草本层	人工林	500.00	8620.00	1.17	0.57
草本层	次生林	530.00	2480.00	1.25	0.63

表 1 人工林与次生林物种多样性指数对比

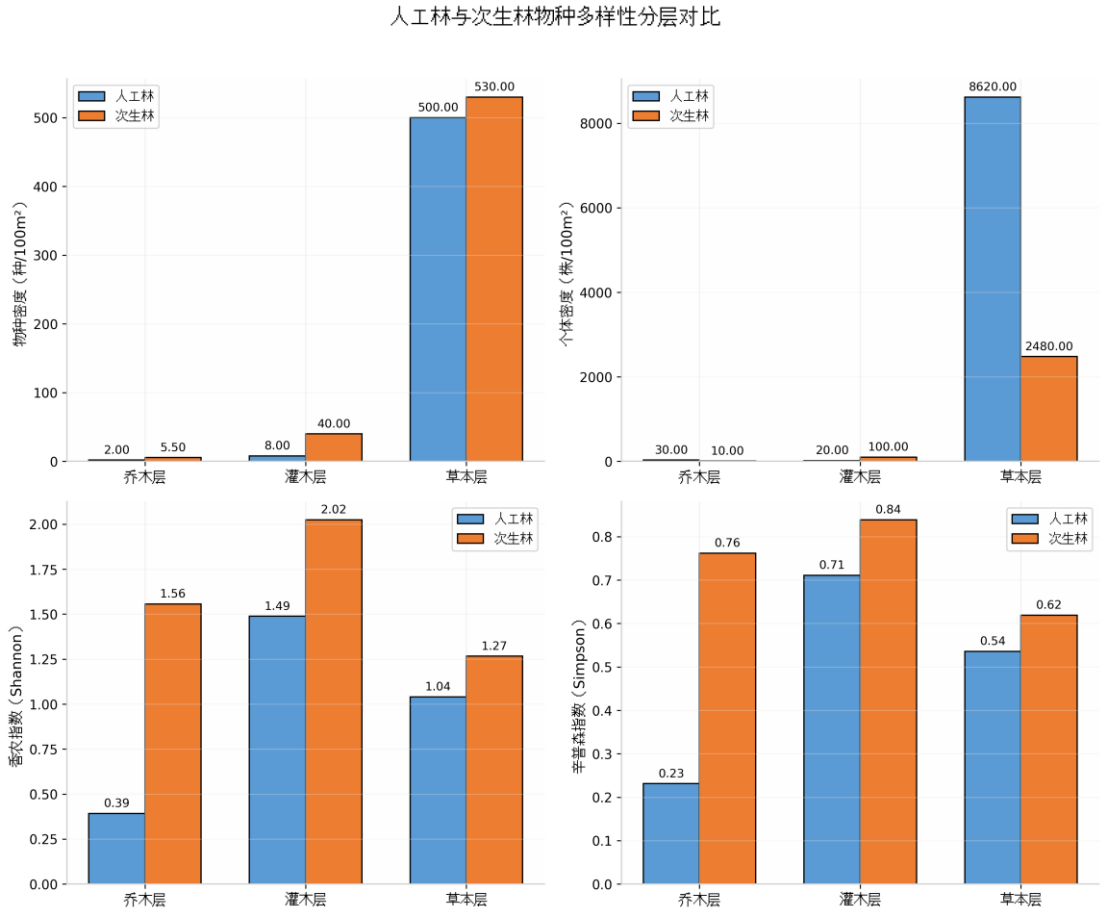


图 1 人工林与次生林物种多样性分层对比

4. 研究结论

4.1 样方结果

（1）乔木层

人工林乔木层仅记录红桦与日本落叶松 2 个树种，日本落叶松占绝对优势（26/30，86.7%），香农指数仅 0.39，辛普森指数 0.23，呈现典型的单优种群结构。次生林两个 100 ㎡ 样方共记录 7 个树种，以铁杉、刺叶栎、秦岭白蜡树等乡土树种为主，无单一优势种垄断，香农指数达 1.56，辛普森指数 0.76，树种组成明显较人工林复杂。

（2）灌木层

人工林灌木层仅记录 6 种 15 株，换算至 100 ㎡ 为 8 种 20 株，以华北绣线菊为优势（7/15），香农指数 1.49，辛普森指数 0.71。次生林两个样方分别记录 11 种和 9 种，换算至 100 ㎡ 为 40 种 100 株，物种密度远高于人工林，香农指数 2.03，辛普森指数 0.84，反映自然演替下灌木层生态位分化更充分。

（3）草本层

两林型草本层物种密度接近（人工林 500 种/100 ㎡，次生林 530 种/100 ㎡），但次生林香农指数（1.25）和辛普森指数（0.63）均略高于人工林（1.17 和 0.57）。人工林草本层个体密度异常偏高（8620 株/100 ㎡），主要由乌苏里薹草、山酢浆草等少数种形成单优群落；次生林草本层个体密度较低（2480 株/100 ㎡），物种分布相对均匀。

（4）综合判断

在乔木、灌木、草本三个层次上，次生林的香农指数和辛普森指数均高于人工林，说明自然恢复形成的次生林在物种丰富度和群落均匀度上整体优于人工林。人工林因栽植时树种单一化，导致各层次均出现优势种垄断，多样性降低。其中灌木层差异最为突出，次生林物种密度为人工林的 5 倍。

4.2 总结

本研究通过样方调查，系统比较了秦岭佛坪保护区人工林与次生林的物种多样性差异。样方分析表明，两种林型的多样性差异在各群落层次表现一致：乔木层、灌木层和草本层的辛普森指数与香农指数均显示次生林高于人工林，反映人工林优势种垄断与物种单一化格局在群落各层均有体现。

上述结果揭示，人工栽植导致的树种单一化显著降低了群落多样性，而自然演替驱动的次生林通过种间竞争与生态位分化形成了更复杂的群落结构。基于上述发现，提出以下建议：第一，对人工林实施近自然化改造，补植乡土阔叶树种，恢复生态系统复杂性；第二，将次生林分布区划为优先保护区域，维持其自然演替进程与生物多样性维持功能；第三，建立长期固定监测样地，跟踪群落动态变化，为适应性管理提供依据。

5. 讨论

5.1 研究局限性与改进方案

本研究存在以下主要局限：

样本量不足：人工林乔木层和灌木层样方各仅 1 个，次生林乔木层和灌木层各 2 个，草本层样方数量相对充足（人工林 5 个、次生林 10 个），但整体上群落层次间的重复数不均衡，可能导致层次间比较的代表性受限。

改进方向包括：增加重复样方至 n ≥ 10；开展春、夏、秋三季调查；引入功能群分析与系统发育多样性指标；采用协方差分析控制海拔因素。

5.2 群落结构差异的驱动机制

人工林与次生林的多样性差异根植于栽植方式与演替路径的本质区别。人工林以日本落叶松为绝对优势种（5 m × 20 m 样方 30 株乔木中占 26 株，86.7%），行株距规则，郁闭度高，林下光照截获强烈，灌木层仅记录华北绣线菊等 6 种，呈现典型的优势种垄断格局。次生林则经历数十年自然演替，第一组 10 m × 10 m 样方即记录铁杉、锥腺樱桃、秦岭白蜡树等 7 个树种，5 m × 5 m 灌木层样方记录 11 种，形成针阔混交的多层次结构。辛普森指数与香农指数在乔木层和灌木层均一致地显示次生林高于人工林，表明人工林在优势种集中度和整体丰富度两方面均逊于次生林，两种指数的互补性增强了结论的稳健性。

6. 附录

6.1 人工林样方数据

样方 5 m × 20 m

物种	序号	胸径（cm）	直径（cm）
红桦	1	10.5	3.3
	2	25.0	8.9
	3	8.7	2.8
	4	21.0	6.7
日本落叶松	1	58.0	18.5
	2	68.0	22.5
	3	12.5	4.0
	4	30.0	9.5
	5	48.0	15.0
	6	40.0	13.0
	7	40.0	13.0
	8	25.0	8.0
	9	17.0	5.0
	10	75.0	23.0
	11	63.5	20.0
	12	46.5	15.8
	13	49.0	15.6
	14	15.5	5.0
	15	59.5	18.9
	16	48.0	15.3
	17	27.5	8.8
	18	65.0	20.7
	19	20.5	6.5
	20	20.5	6.5
	21	46.0	14.5
	22	46.0	14.7
	23	20.0	6.3
	24	32.0	10.2
	25	55	17.5

	26	23.5	7.5

5 m × 15 m

物种名	株数	高度 (cm)	冠幅 (cm)	盖度 (%)
华北绣线菊	7	45	55	9
宝兴茶藨子	1	41	71	1
唐古特忍冬	3	38	63	1
山梅花	1	50	65	1
高丛珍珠梅	1	49	44	1
角翅卫矛	2	19.5	35	1

1 m × 1 m 样方

样方	物种名	株 / 丛数	高度 (cm)	盖度 (%)
样方 1	乌苏里薹草	64	12	8
	东方草莓	1	10	1
	山酢浆草	4	12.5	1
样方 2	东方草莓	21	10	5
	活血丹	5	10/22	2
	日本羊茅	36	25	20
	大舌薹草	42	19	15
	六叶葎	9	13/16	2
	山酢浆草	3	—	1
	宽叶薹草	4	20	1
样方 3	问荆	1	—	14
	日本羊茅	47	—	30
	山酢浆草	12	9.5	1
	假福王草	1	52	2
	东方草莓	1	15	1
	大舌薹草	4	31	1
样方 4	山酢浆草	19	10	2
	粟草	15	46.5	1
	散穗地杨梅	11	17	1
	六叶葎	18	11	1

样方 5	乌苏里薹草	33	35	60
	山酢浆草	61	14	10
	散穗地杨梅	17	14	5
	问荆	1	32	1
	六叶葎	1	31	1

6.2 次生林样方数据

第一组:

海拔 1927 m，气压 804 hPa，时间 11:18

10×10 样方：	树木品种：	数量(株)	郁闭度(%)	胸径(cm)	周长(cm)
	铁杉	1	20%	39.3	123.5
	锥腺樱桃	1	5%	10	31.1
	刺叶栎	4	30%	18	57
				14	44
				45.5	143.5
				18.5	58
	秦岭白蜡树	2	10%	15	47
				11.5	36
	三亚乌药	1	5%	12	27.8
	锐齿栎	2	10%	7.1	22.2
				16.1	50.5
	甘肃山楂	1	3%	5.8	18.5
5×5 样方：	灌木品种：	数量(株)	郁闭度(%)	宽(cm)	高(cm)
	直穗小檗	1	1%	62	22
	喜阴悬钩子	6	11%	75	15
	纤齿卫矛	1	0.5%	31	72
	桦叶荚蒾	5	2%	32	80
	灰栒子	1	2%	32	72
	唐古特忍冬	2	0.5%	36	65
	南方六道木	8	5%	45	46

	山梅花	1	0.5%	31	61
	鞘柄菝葜	1	0.5%	23	57
	宝兴茶藨子	1	0.5%	33	22
	秦岭箭竹	1	6%	140	300
1×1 样方：	草本品种：	数量(株)	郁闭度(%)	宽(cm)	高(cm)
1 组	沿阶草	4	17%	23	15
	弹裂碎米荠	2	2%	10	53
	日本羊茅	2	0.5%	5	53
	乌苏里薹草	8	25%	20	25
	大舌薹草	3	16%	26	24
	黄精	1	6%	27	24
	湖北大戟	1	1%	10	21
	疏叶当归	1	2%	14	7
2 组	乌苏里薹草	16	15%	29	27
	疏叶当归	3	5%	15	14
	西南堇菜	2	3%	13	8
3 组	乌苏里薹草	26	30%	20	22
	支柱蓼	4	7%	15	25
	黄精	1	2%	14	25
	尾叶风毛菊	5	10%	33	61
	粟草	3	2%	3	20
	龙牙草	2	1%	15.5	20
	赤胫散	7	3%	10	13
	红升麻	1	3%	51	15
4 组	乌苏里薹草	78	5%	13	25
	艾麻	3		3	20
	尾叶风毛菊	1	2%	20	68
	疏叶当归	1	1%	16	35
	东方草莓	4	2%	7	16

5 组	宿草	3	10%	55	45
	弹裂碎米荠	1	1%	14	17
	尾叶风毛菊	3	3%	20	28
	支柱蓼	3	2%	13	16
	乌苏里薹草	4	4%	13	23
	湖北大戟	1	1%	9	21
	西南堇菜	1	1%	15	14
	赤胫散	3	2%	11	13

第二组：

海拔 1799 m，气压 816 hPa，时间 14:14

10×10 样方：	树木品种：	数量(株)	郁闭度(%)	胸径(cm)	周长(cm)
	杈叶槭	1	30%	65	204
	枫杨	2	30%	6.5	20
				24.6	77.5
	五角枫	3	30%	3.7	11.7
				7	22
				16	50
	秦岭白蜡树	2	10%	7.2	22.5
				4.2	13
5×5 样方：	灌木品种：	数量(株)	郁闭度(%)	宽(cm)	高(cm)
	粉背溲疏	1	3%	103	88
	唐古特忍冬	2	2%	60	38
	钝叶蔷薇	2	1%	44	115
	大花五味子	2	1%	36	36
	宝兴茶藨子	5	10%	70	85
	喜阴悬钩子	4	3%	45	72
	桦叶荚蒾	1	2%	70	162
	顶花板凳果	1	1%	5	20
	蜀五加	4	1%	21	37

1×1 样方：	草本品种：	数量(株)	郁闭度(%)	宽(cm)	高(cm)
1 组	黄花油点草	1	5%	25	22
	红升麻	2	32%	45	58
	卵叶茜草	2	4%	15	45
	西南堇菜	5	4%	10	5
	银线草	2	5%	18	30
2 组	黄花油点草	1	3%	19	14
	鹿药	8	2%	6	4
	毛细辛	1	0.5%	4	2
	卵叶茜草	2	3%	14	54
3 组	黄花油点草	3	10%	21	39
	卵叶茜草	2	8%	23	120
	乌苏里薹草	2	14%	30	22
4 组	大叶碎米荠	1	5%	25	63
	黄花油点草	2	3%	13	37
	假福王草	3	2%	10	35
	山酢浆草	3	0.2%	3	13
	毛细辛	3	0.1%	1	25
5 组	银线草	4	9%	17	25
	白花碎米荠	1	1%	12	25
	尾叶风毛菊	1	3%	19	43
	双花堇菜	1	7%	29	24