

沱沱河地区紫花针茅群落种间联结性分析

刘洋^{1,2}, 胡刚³, 梁士楚³, 彭敏^{1*}, 卢学峰¹, 岳鹏鹏^{1,2}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 广西师范大学生命科学学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 基于方差比率(VR)、 χ^2 检验和 Jaccard 指数对沱沱河地区紫花针茅群落 12 个主要种的种间联结性进行了分析。结果表明, 紫花针茅群落优势种多物种间显著正关联, 存在稳定共存的种间关系。建群种与其它物种间联结性不显著, 在群落中能够稳定存在并占据优势生态位, 群落处于植被演替过程的一个相对稳定的阶段。伴生种或次优势种之间联结显著, 在群落中表现出很强的依赖性, 分布易受其它物种的影响, 在群落中不能稳定存在且只占据劣势生态位。根据种间联结性的分析结果, 将紫花针茅群落分为 2 个不同的生态种组, 但这 2 个生态种组并不具有明显的界限, 它们之间存在着直接或间接的联系。

关键词: 紫花针茅群落; 种间联结; χ^2 检验; Jaccard 指数; 沱沱河地区

中图分类号: Q948.1; S812 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2007)05-0720-05

Interspecific associations analysis of *Stipa purpurea* community in Tuotuo River Area

LIU Yang^{1,2}, HU Gang³, LIANG Shi-Chu³, PENG Min^{1*},
LU Xue-Feng^{1,2}, YUE Peng-Peng^{1,2}

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;
2. Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on variance ratio, χ^2 test, and Jaccard index, the interspecific association of twelve principal species in *Stipa purpurea* Steppe community in Tuotuo River Area was studied. The results showed that the overall associations among dominant species in *S. purpurea* community had significant positive association. The dominant species had stable coexistence relation; Constructive species showed great independence and occupied prior ecological niche in the community, which distributions were not susceptible to others. This partly accounted for the persistency of constructive species in the community. Accompanying species or secondary dominant species with others were significant. They indicated great dependency. Distributions of accompanying species or secondary dominant species were susceptible to other species and only occupied in ferior ecological niche in the community, which resulted in their transition or unstability in the ecosystem development. According to the measuring results, the principal species could be divided into two species groups. But they had no distinct limit. There was direct or indirect relation between them.

Key words: *Stipa purpurea* community; interspecific association; χ^2 correction test; Jaccard index; Tuotuo River Area

种间联结 (interspecific association) 是指不同物种在空间分布上的相互关联性。通常是由于群落生境的差异影响物种的分布而引起的 (王伯荪等, 1989; Greig-Smith, 1983)。种间联结是群落形成和

收稿日期: 2006-04-29 修回日期: 2006-12-21

基金项目: 国家科技部基础研究快速反应支持项目; 中国科学院西北高原生物研究所知识创新工程领域前沿项目 (CXLY-2002-7) [Supported by Basic Research Foundation of Science and Technology Ministry of China; Frontier Project of the Knowledge Innovation Program of Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences (CXLY-2002-7)]

作者简介: 刘洋 (1981-), 男, 山东费县人, 在读硕士, 主要从事区域生态学方面研究。

* 通讯作者 (Author for correspondence)

演化的基础,是重要的数量和结构指标,是种群间相互关系的一种表现形式,也是群落分类的依据。种间联结分析作为反映种间关系的一种方法已被广泛应用于植被分析和种间相互作用的研究中(黄世能等,2000;Myster等,1992;周先叶等,2000)。由于植物种间关联的研究可以确定植物种间关系,揭示群落演替中植物替代关系的机制,成为刻画群落演替趋势的有效方法,为生产实践中的植被恢复与重建提供理论依据。

长江源区是长江流域的特殊生态功能区,也是我国最重要的生态功能区之一,其生态环境的好坏,不仅关系到当地人民的生存与发展,而且在一定程度上将影响整个长江流域经济和社会的可持续发展(吴豪等,2001)。长江源区是长江流域的特殊生态功能区,也是我国最重要的生态功能区之一,沱沱河作为长江正源,在长江源区占有十分重要的地位。沱沱河地区分布着大片高寒草原,紫花针茅(*Stipa purpurea*)群落是组成该地区高寒草原的典型植被类型。目前,国内对草原植被优势种的种间关联性方面研究已有报道(邢福等,2002;朱桂林等,2004;郭道宇等,2003),对长江源区草原植被的生态学研究较少(吴玉虎,2000;温秀卿等,2004),而对沱沱河地区紫花针茅群落的生态学研究至今未有报道。本文通过对沱沱河地区紫花针茅群落主要种间联结性分析,旨在深入认识紫花针茅群落的种间关联、种群动态及结构特征,以期为区域退化草原生态系统的恢复与重建提供科学的理论依据。

1 研究地自然概况

试验区(92°28'59" E, 34°14'32.9" N)位于沱沱河地区,沱沱河为长江正源,长 300 多千米,发源于青藏高原各拉丹东雪山的冰河中,西部和东部 207 km² 冰雪融水补给给它。该区山地相间,河流众多,现代冰川及湖泊分布。海拔高度 4 500 m 左右,为高寒草原区,属典型的高原大陆性气候,其特征是大气稀薄,干燥少雨,光照时间长,太阳辐射强,气候寒冷,气温年差小,年均温在-6.0~4.0 °C 之间,昼夜温差大,风大沙多,无霜期短,年降水量在 283.1 mm;蒸发量 1 637.3 mm。土壤类型为高山草甸土、高山草原土等,群落类型为紫花针茅+二裂委陵菜+弱小火绒草等,伊凡苔草、梭罗草、大花嵩草等为常见伴生种。

2 研究方法

2.1 样地调查及数据处理

采用样方法进行野外取样调查,于 2003 年 8 月期间,在沱沱河地区不同地域随机设置 1 m×1 m 小样方,共 80 个,统计样方内出现的植物种类及其个体数、盖度、高度、物候期等特征,同时记录海拔高度、坡度、坡向及土壤类型等环境因子。80 个样方内,共记录 49 种植物,为全面反映群落中关键种群的地位和作用。根据样地调查数据计算其重要值,依据重要值大小选取了前 12 个主要种群作为研究对象(表 1),进行种间联结性分析。重要值计算方法为:IV=(相对盖度+相对频度)/2。

2.2 分析方法

2.2.1 多物种间的总体关联性检验 采用 Schluter (1984)提出的方差比率进行检验,其计算公式为:

$$VR = \frac{S_T^2}{\delta_T^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2}{\frac{s}{\sum_{i=1}^s P_i (1 - P_i)}} \quad (P_i = \frac{n_i}{N})$$

式中, N 为总的样方数, S 为总的物种数, T_j 为样方 j 内出现的物种总数, t 为样方中种的平均数, n_i 为物种 i 出现的样方数。 VR 值为群落内植物种间的总体联结指数, $VR=1$,接受零假设即所有种间无关联; $VR>1$ 或 $VR<1$ 否定零假设,接受备择假设即种间表现出正联结)或负联结。由于种间正负关联可以相互抵消,因此采用统计量 $W(W=N \times VR)$ 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度,若物种不显著相关联,则 W 落入由下面 χ^2 分布给出的界限的概率为 90%, $\chi^2(0.95, N) < W < \chi^2(0.05, N)$,反之物种间显著联结。

2.2.2 种间联结性的 χ^2 检验 (Greig-Smith, 1983; Kershaw 等, 1985) 根据取样资料,建立种对间的 2×2 列联表,分别统计出 a, b, c, d 值。其中, a 为种 A 和种 B 均出现的样方数, b 为仅有种 A 出现的样方数, c 为仅有种 B 出现的样方数, d 为两个种均不出现的样方数。由于取样为非连续性取样,因此,采用 Yates 的连续校正系数来纠正(王伯荪等,1985;周先叶等,2000),其公式为:

$$\chi^2 = \frac{(|ad-bc| - 0.5n)^2 n}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}$$

式中, n 为样方总数,当 $\chi^2 < 3.841$ 时,种间无显著联结;当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时,种间联结显著;

当 $\chi^2 > 6.635$ 时,种间联结极显著。 χ^2 本身没有负值,判断种间正、负联结的方法是:若 $ad-bc > 0$ 时为正联结,若 $ad-bc < 0$ 时为负联结,若 $ad-bc = 0$ 时种间相互独立。

2.2.3 种间联结程度的测定(王伯荪等,1985) 采用 Jaccard 指数即共同出现百分率(percentage co-occurrence)来描述种间联结程度,其测定公式为:

$$PC = \frac{a}{a+b+c}$$

PC 的值域为 $[0, 1]$ 。其值越接近于 1,则表明该种对的正联结性越紧密。

表 1 紫花针茅群落 12 个主要种的种名和重要值

Table 1 Name and important value of 12 principal plant species of *Stipa purpurea* community

种号 No. of species	植物种 Species	重要值 Important value
1	紫花针茅 <i>Stipa purpurea</i>	24.27
2	二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	7.66
3	弱小火绒草 <i>Leontopodium humilum</i>	6.93
4	沙生风毛菊 <i>Saussurea arenaria</i>	6.10
5	梭罗草 <i>Kengyilia thoroldia</i>	5.49
6	伊凡苔草 <i>Carex ivanovae</i>	4.95
7	紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	4.75
8	线叶嵩草 <i>Kobresia capillifolia</i>	3.88
9	大花嵩草 <i>K. macrantha</i>	2.81
10	楔叶山莓草 <i>Sibbaldia cuneata</i>	2.26
11	多花黄芪 <i>Astragalus floridus</i>	2.08
12	扇穗茅 <i>A. hendersonii</i>	2.07

3 结果与分析

3.1 总体联结性

经计算多物种间联结指数 $VR = 4.13$, $VR > 1$ 否定零假设,接受被择假设,表明种间总体为正关联,由于种间正负关联可以相互抵消,因此采用统计量 $W(W = N \times VR)$ 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度。其显著性统计量 $W = 330$,以自由度查相应 χ^2 值, $\chi^2_{0.95, 80} = 60.3$, $\chi^2_{0.05, 80} = 101.88$, W 不在此区间内,表明群落多物种间总体上正联结达到显著水平,种间关联密切。说明群落中一些种的存在对另一些种的存在有利(曹永慧等,2003),即互利共存。

3.2 种间联结性

种间联结的 χ^2 检验能比较准确地刻画种对间联结的显著程度,提供了判断种间联结显著性的定量指标。由图 1 可知,在紫花针茅群落中重要值较高的前 12 个种组成的 66 个种对中,显著相关种对

25 个,占总对数的近 37.9%,其中 14 个种对极显著正联结;11 个种对极显著负联结。正联结、负联结种对数所占的百分比分别为 56% 和 44%。正联结种对多于负联结种对,且极显著正联结的种对数多于极显著负联结种对数,可见,这 12 个主要种在总体上呈现正联结趋势。

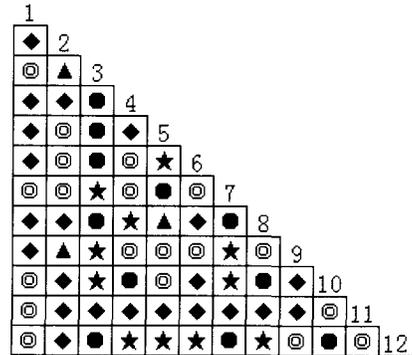


图 1 12 个主要种种间联结的 χ^2 值半矩阵图

Fig. 1 The semi-matrix of χ^2 values for 12 principal species in *Stipa purpurea* community

正联结 Positive association; ★ $P \leq 0.01$ (极显著 Very significant); ▲ $0.01 < P \leq 0.05$ (显著 Significant); ◆ $0.05 < P$ (不显著 No significance); 负联结 Negative association; ● $P \leq 0.01$ (极显著 Very significant), ⊙ $0.05 < P$ (不显著 No significance)

显著正联结的种对表明这些种常相伴出现,一方面是其生态学特性及对环境要求的差异和互补性,在营养生态位上出现重叠,导致各种之间互相兼容、互相促进生长。例如二裂委陵菜与弱小火绒草,二裂委陵菜与大花嵩草,弱小火绒草与紫羊茅,弱小火绒草与楔叶山莓,梭罗草与伊凡苔草,梭罗草与线叶嵩草,梭罗草与扇穗茅,伊凡苔草与扇穗茅,紫羊茅与大花嵩草,紫羊茅与楔叶山莓草,线叶嵩草与扇穗茅;另一方面其生态学特性及对环境要求相似,可能存在竞争,但由于养分条件充沛,还不至于排斥,同时出现机会很大,因而也表现出显著正联结。例如弱小火绒草与大花嵩草,沙生风毛菊与线叶嵩草,沙生风毛菊与扇穗茅。种对间呈现显著负联结体现了种间的排斥性,可能是因为不同种对对群落微环境的需求不一致,生态位重叠的机会小,加上环境营养空间和资源有限,为争夺资源产生竞争和排斥,因而表现出显著负联结。显著负相关的种对有弱小火绒草与沙生风毛菊、弱小火绒草与梭罗草、弱小火绒草与伊凡苔草、弱小火绒草与线叶嵩草、弱小火绒草与扇穗茅、沙生风毛菊与楔叶山莓草、梭罗草与紫羊

茅、紫羊茅与线叶嵩草、紫羊茅与扇穗茅、线叶嵩草与楔叶山莓草、楔叶山莓草与扇穗茅。

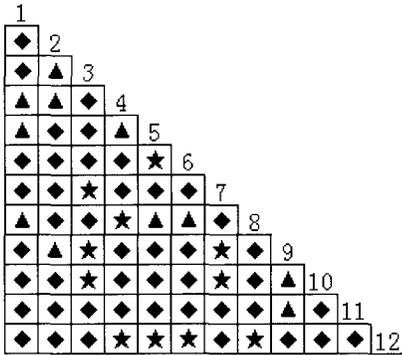


图 2 12 个主要种种间 Jaccard 关联指数半矩阵图

Fig. 2 The semi-matrix of Jaccard index for 12 principal species in *Stipa purpurea* community

◆ $0 \leq JI < 0.2$; ▲ $0.2 \leq JI < 0.5$; ★ $0.5 \leq JI$.

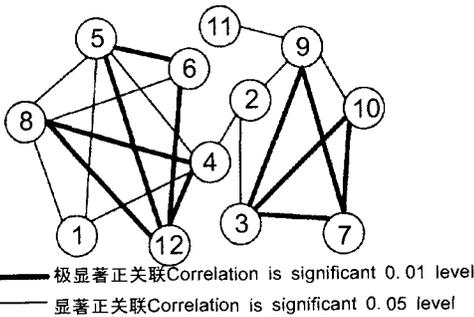


图 3 12 个主要种种间 Jaccard 关联指数星座图

Fig. 3 The constellation diagram of Jaccard index for 12 dominant species in *Stipa purpurea* community

3.3 种间联结程度

根据 12 个主要种的 Jaccard 关联指数结果绘制半矩阵图和星座图(图 2、图 3),可以看出种间联结程度的分析与 χ^2 检验结果总体上趋于一致。图中,清晰地反映了各主要种群之间存在着复杂的关系,从而使得星座图成为一个不具有明显间断的连续体,从这个连续的变异体中,可以看到不同的植物种具有不同的生态需求(李伟等,1995),这样将以紫花针茅为主要建群种的群落分为 2 个不同的生态种组。第 1 生态种组以紫花针茅为主要建群种,主要伴生种为适宜于旱生或中旱生生境的物种,如沙生风毛菊、梭罗草、伊凡苔草、线叶嵩草、扇穗茅等;第 2 生态种组以弱小火绒草为主要建群种,主要伴生种由适宜于中生生境且对水分、温度、土壤等环境因

子的要求比第 1 种组要严格的物种组成,如紫羊茅、楔叶山莓草、多花黄芪等。整个星座图虽然可以分为 2 个生态种组,但这 2 个生态种组并不具有明显的界限,比如大花嵩草在第二个生态种组里面,但是它适宜于旱生生境;二裂委陵菜则在旱生生境和中生生境下均适应。说明尽管 2 个种组适应的生境不完全相同,但由于处于同一区域,它们之间存在着直接和间接的联系,这种联系反映了各个群落具有相同的演替方向。

4 讨论

群落总体多物种为正联结,且达到显著水平,说明物种间关联密切,独立性不强,它们的自由分布没有超出环境容纳量,环境对物种的增长有促进作用。

在紫花针茅草原群落中,种间正联结种对多于负联结种对,这表明,种群的分布未超出环境的容纳量,随着草地演替的进程,群落结构及种类组成逐渐趋于完善和稳定,种间关系也趋于正联结,以求多物种间的稳定共存,群落处于正向演替发展阶段。

寒冷旱生多年生密丛禾草紫花针茅广泛分布于青藏高原,各地生态条件有别,其结构、种类组成有显著差异。从紫花针茅群落种间联结程度分析发现,紫花针茅与其它大多数物种之间联结性不显著,它们的分布和存在不受其它物种的影响或所受影响很小,在群落中表现出较强的稳定性并占据优势生态位,这与其生态学特征有很紧密关系。伴生种或次优势种之间联结显著,在群落中的分布明显受其它物种的影响且不稳定,只占据劣势生态位。

紫花针茅在旱生、中生生境均能适合生长。通过种间联结性分析,可将紫花针茅群落 12 个主要种分为 2 个生态种组,第一个生态种组以适宜于旱生或中旱生生境的植物为主,第二个生态种组以适宜于中生生境的植物为主,对水分、温度、土壤等环境因子的要求较严格。但这 2 个生态种组并不具有明显的界限。这与紫花针茅生态习性有关,说明尽管 2 个种组适应的生境不同,但由于均是紫花针茅草原,它们之间存在着直接和间接的联系,这种联系反映了各个群落具有相同的演替方向。

沱沱河作为长江的源头,在长江源区占有十分重要的地位,沱沱河地区紫花针茅优势群落近年来有退化的趋势,采取措施,加强保护力度势在必行。种间联结的测定与分析,对于群落结构和演替等方

面的研究具有重要意义,本研究旨在为长江源区的生态环境保护与治理提供科学的参考价值。

参考文献:

- 王伯荪,李鸣光,彭少麟. 1989. 植物种群学[M]. 广州:中山大学出版社;115-120
- Cao YH(曹永慧),Lai PM(赖培森). 2003. Study on *Manglietia yuyuanensis* natural forest community interspecific association (乳源木莲天然林群落种间联结的研究)[J]. *J Fujian Coll Fore* (福建林学院学报),23(2):124-127
- Greig-Smith P. 1983. Quantitative Plant Ecology[M]. 3rd edition. Oxford:Blackwell Scientific Publications;105-112
- Guo XY(郭道宇),Zhang JT(张金屯),Gao HW(高洪文). 2003. A study on interspecific association of dominant species in *Bothriochloa ischaemum* community(白羊草群落优势种间联结性的分析)[J]. *Acta Prat Sin*(草业学报),12(2):14-19
- Huang SN(黄世能),Li YD(李意德),Luo TS(骆土寿). 2000. Dynamic of associations between tree species in a secondary tropical montane rain forest at Jianfengling on Hainan Island(海南岛尖峰岭次生热带地雨林树种间联结动态)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报),24(5):569-574
- Kershaw KA,Looney JH. 1985. Quantitative and Dynamic Plant Ecology[M]. London:Edward Arnold Publication;78-94
- Li W(李伟),Zhong Y(钟扬). 1995. Association and correlation analyse of the shoreline wetland plants in Futouhu Lake(湖北斧头湖湖滨湿地植物的联结与相关分析)[J]. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究),13(1):65-69
- Myster RW,Pickett ST. 1992. Dyanmic of association between plants in ten old fields during 31 years of succession[J]. *J Ecol*,80:291-302
- Schluter D. 1984. A variance test for detecting species association with some example application[J]. *Ecology*,65:998-1005
- Wang BS(王伯荪),Peng SL(彭少麟). 1985. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower-sub-tropical evergreen-broadleaved forests. I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association(南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究 I. 种间联结测式的探讨与修正)[J]. *Acta Phytoecol et Geobot Sin*(植物生态学与地植物学丛刊),9(4):274-285
- Wen XQ(温秀卿),Yang GH(杨改河),Wang DX(王得祥),et al. 2004. Vegetation compartmentalization in source regions of Yangtze River and Yellow River(江河源区植被分区)[J]. *J Northwest Sci-Tech Univ Agric Fore* (Nat Sci Edi)(西北农林科技大学学报(自)),32(2):5-13
- Wu YH(吴玉虎). 2000. The floristic characteristics in the source of Changjiang(Yangtze) River(长江源区植物区系研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报),20(6):1086-1101
- Wu H(吴豪),Yu XG(虞孝感). 2001. Ecological environment in the nature preserve of the source region of Changjiang River with the delineation of its ecological functioning zones(长江源自然保护区生态环境状况及功能区划分)[J]. *Res Environ Yangtze Basin*(长江流域资源与环境),10(3):252-257
- Xing F(邢福),Song R(宋日),Qi BL(祁宝林),et al. 2002. Analysis to the interspecific association of *Stellera chamaejasme* population and other main plant species in *Cleistogenes squarrosa* steppe(糙隐子草草原狼毒种群与其他主要植物的种间联结分析)[J]. *Acta Prat Sin*(草业学报),11(4):64-51
- Zhou XY(周先叶),Wang BS(王伯荪),Li MG(李鸣光). 2000. An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve, Guangdong Province(广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报),24(3):332-339
- Zhu GL(朱桂林),Yang HQ(杨洪琴),Wei ZJ(卫智军),et al. 2004. Interspecific associations in *Stipa breviflora* desert steppe community(短花针茅草原群落种间联结研究)[J]. *Acta Prat Sin*(草业学报),13(5):33-38

(上接第 810 页 Continue from page 810)

最佳采收期。对于同一地点不同采收时间黄花蒿样品进行检测,结果表明黄花蒿最佳采收期为八月初到九月末,这与文献报道的相同(韦霄等,1999)。目前对于不同产地黄花蒿中青蒿素的含量差异原因还有待继续研究。

参考文献:

- 国家药典委员会. 2005. 中华人民共和国药典[M]. 北京:化学工业出版社;309
- Huang HB(黄海滨),Cen JM(岑家铭). 1994. Determination of Qinghaosu in *Artemisia annua* RP-HPLC(RP-HPLC 测定青蒿中青蒿素的含量)[J]. *J Guangxi Univ*(广西大学学报),19(2):194
- Li DP(李典鹏),Liang XY(梁小燕),Chen XZ(陈秀珍). 1995. Determination of Qinghaosu in *Artemisia annua* in various counties, Guangxi by TLC-UV spectrophotometer(采用薄层层析-紫外分光光度法测定不同产地黄花蒿中青蒿素含量)[J]. *Guihaia*(广西植物),15(3):254
- Li F(李锋),Wei X(韦霄). 1997. The investigation on the forms of *Artemisia annua* in Guangxi(广西黄花蒿类型调查研究)[J]. *Guihaia*(广西植物),17(3):231
- Wei X(韦霄),Li F(李锋). 1999. The effect of different cultivation measures on yield and arteannuin content of *Artemisia annua*(不同措施对黄花蒿产量和青蒿素含量的影响)[J]. *J Guangxi Acad of Sci*(广西科学院学报),15(3):132
- Zhao SS(赵世善),Zeng MY(曾美怡). 1986. Determination of Qinghaosu in *Artemisia annua* by High Performance Liquid Chromatography(高效液相色谱法测定青蒿植物中的青蒿素)[J]. *Chin J Pharm Anal*(药物分析杂志),6(1):3