新疆阜康荒漠红砂种群构件结构与环境因子的灰色关联度分析

徐莉¹ 王丽¹ 岳明¹ 赵桂仿^{1*} 王玲²

(1 西北大学生命科学学院, 秦岭生物多样性研究中心, 西安 710069)

(2 山西师范大学生物系, 临汾 041000)

摘要 以构件理论为基础, 运用灰色关联度分析技术, 对新疆阜康荒漠红砂 (*Reaumuria soongorica*) 自然种群构件结构及其与环境因子的关系进行了研究。结果表明: 1) 植株冠幅是表征红砂生长情况的重要指标, 随着红砂植株冠幅的增大, 植株高度明显增加, 而且植株冠幅与植株的一级分枝系统和当年生枝系统的构件因子相关度较大。2) 在某种意义上, 一级分枝系统是红砂植株的基础, 三级分枝系统和当年生枝系统则是二级分枝系统的派生物, 它们之间的关联性显示了红砂种群构件组成间的整合作用。3) 一级分枝系统内的分枝高度与分枝数、长度及分枝角度有较大的关联度, 但与径粗关联度相对较小, 说明一级分枝系统内后者的变化与前四者并不完全相似, 表现出一定的异质性。4) 在二级分枝系统中, 一方面, 各构件特征与一级分枝系统存在较大的关联度, 反映了红砂种群构件结构一定程度的整合作用; 另一方面, 二级分枝构件系统内的分枝数、分枝角度、径粗间表现出了一定的高相关性, 说明它们的变化特征比较相似, 受其它因子作用的反映具较高的一致性。5) 三级分枝和当年生枝系统也是阜康荒漠红砂种群构件结构中比较重要的特征。6) 研究的 17 个环境因子与红砂种群的生长关系均较密切, 其中土壤 Cl⁻ 含量和土壤电导率是影响阜康荒漠红砂种群生命活动相对重要的环境因子, 而土壤总钾含量则为相对的次要因子。

关键词 阜康荒漠 红砂种群 构件结构 环境因子

ANALYSIS OF GREY RELATEDNESS BETWEEN THE MODULAR STRUCTURE OF *REAUMURIA SOONGORICA* POPULATION IN THE DESERT OF FUKANG, XINJIANG AND THE ENVIRONMENTAL FACTORS

XU Li¹ WANG Li¹ YUE Ming¹ ZHAO Gui-Fang^{1*} and WANG Yi-Ling²

(1 School of Life Science, Biodiversity Research Center of Mts. Qinling, Northwest University, Xi'an 710069, China)

(2 Department of Biology, Shanxi Teachers University, Linfen 041000, China)

Abstract On the basis of the theory of modularity, the correlation between environmental factors and the modular structure of the *Reaumuria soongorica* population in the desert of Fukang, Xinjiang, was studied through analysis of the degree of relatedness adopted in the grey system theory. The results showed that 1) the canopy diameter (including the south-north and east-west diameter) is the important index representing the growth and development of *Reaumuria soongorica* population. Plant height is enhanced significantly with increasing canopy diameter. The grey relatedness degree is higher between the canopy and the modular factors of the first grade branch system and the present year branch system. 2) in a sense, the first grade branch system is the foundation for the whole plant while the third grade branch and the present year branch system are derived from the second grade branch system. The relationship among these factors indicates the integration in the modular structure of *Reaumuria soongorica* population. 3) in the first grade branch system, the relatedness degree is higher between the height and the number, length and angle, but lower between the height and the diameter. It demonstrates that the diameter does not completely resemble the former four modular factors of the first grade branch. As a result, some heterogeneity exists among these modular components of the first grade branch. 4) the modular characteristics of the second grade branch have higher relatedness degrees with the first grade branch system implying the integration of the modular factors. On the other hand, the grey relatedness degrees among the number, angle and diameter of the second grade branch system are higher, which shows, to some extent, that the modules change similarly and they reflect the other factors consistently. 5) the third grade branch and the present year branch system are also characteristics of the modular structure of *Reaumuria*

soongorica populations. 6) generally, the relatedness degrees between the seventeen environmental factors investigated and the modules of the plant are higher relatively, which shows that the environmental factors strongly affect the growth and development of *Reaumuria soongorica* populations. Meanwhile, the paper indicates that the Cl^- content and the conductivity of the soil are more important compared with the other factors. The total potassium content of the soil is a comparatively minor environmental factor for *Reaumuria soongorica* population.

Key words Fukang Desert, *Reaumuria soongorica* population, Modular structure, Environmental factor

近年来,部分学者认为对植物种群的统计至少应涉及个体(基株)和构件两个水平(Harper & Bell, 1979; Harper, 1980; White, 1984)。种群对环境因子的反应首先表现在种群个体的构件组织上,如植株高度、枝条长度、分枝数目、分枝角度、各级分枝径粗等。在构件水平上研究种群与环境因子的关系,能够获得更多关于种群对环境因子反应以及对某些环境因子适应性等方面的信息;并且在一定程度上,对揭示植物群落结构的形成及群落的相对稳定机理有重要意义(刘玉成等,1996;黎云祥等,1995)。

红砂(*Reaumuria soongorica*)是柽柳科超旱生中温性半灌木,分布广泛,是我国荒漠草场中的建群植物和优势植物(马茂华等,1998)。红砂荒漠是亚洲中部典型的地带性植被类型,对其进行深入的研究将对认识我国乃至中亚荒漠植被具有特殊的代表意义。本文采用野外取样法,从阜康荒漠(北纬 $44^{\circ}08' \sim 44^{\circ}21'$,东经 $87^{\circ}50' \sim 87^{\circ}54'$)获取红砂种群资料,运用灰色关联度分析技术,探讨红砂种群构件结构的代表特征及相互关系,及其与某些生态因子的关系和一定程度的作用机制。

1 研究方法

1.1 试验取样

于 2002 年 7 月 25 日至 27 日,在新疆阜康荒漠取 7 个样地,每个样地作为一个亚种群。然后分别于各样地随机选取 20 株红砂个体(4 龄以上),分别单株测定以下数据分别记为 $X_i (i = 1, 2, \cdots, 20)$: 植株冠幅南北直径(cm, X_1),冠幅东西直径(cm, X_2),高度(cm, X_3),一级分枝数(从基茎上分出的枝数, X_4),二级分枝数(从一级分枝上分出的枝数, X_5),三级分枝数(从二级分枝上分出的枝数, X_6),一级分枝长度(cm, X_7),二级分枝长度(cm, X_8),三级分枝长度(cm, X_9),一级分枝高度(cm, X_{10}),二级分枝高度(cm, X_{11}),三级分枝高度(cm, X_{12}),一级分枝分枝角度($^{\circ}$, X_{13}),二级分枝分枝角度($^{\circ}$, X_{14}),三级分枝分枝角度($^{\circ}$, X_{15}),一级分枝径粗(离基茎 1 cm 处,cm, X_{16}),二级分枝径粗(离一级分枝 0.5

cm 处,cm, X_{17}),三级分枝径粗(离二级分枝 0.5 cm 处,cm, X_{18}),当年生枝长度(cm, X_{19}),当年生枝分枝角度($^{\circ}$, X_{20});以上数值取均值。环境因子 $Y_j (j = 1, 2, \cdots, 37)$ 的测定分别为:其中 $Y_1, Y_2, \cdots, Y_{20}$ 分别同 $X_1, X_2, \cdots, X_{20}$; $Y_{21}, Y_{22}, \cdots, Y_{37}$ 依次为纬度($^{\circ}$, Y_{21})、经度($^{\circ}$, Y_{22})、海拔高度(m, Y_{23})、土壤有机质含量(% , Y_{24} , 重铬酸钾容量法)、土壤总氮含量(% , Y_{25} , 凯氏定氮法)、土壤总磷含量(% , Y_{26} , 高氯酸-硫酸溶法)、土壤总钾含量(% , Y_{27} , 氢氟酸-硫酸消煮法,火焰光度计法)、土壤电导率(Y_{28} , 电导仪)、土壤含水量(% , Y_{29} , 烘干法)、土壤可溶性盐(包括 CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+})含量(具体分析见中国土壤学会农业化学专业委员会(1983)),土壤 pH 值(酸度计)。所得数据见表 1。

1.2 数据处理

基于灰色系统理论的关联度分析是对一个发展变化系统进行发展态势的量化比较,其基本思想是根据曲线几何形状的相似程度来判断关联程度。刘玉成等(1994; 1996)的研究表明,它在分析植物种群数量特征与环境因子间关系时,结论比较可靠而且基本能够反映客观实际情况。本文以 X_i 作为母因子集、 Y_j 为子因子集,先对原始数据进行极差标准化(张金屯, 1995),再据下述公式计算关联系数。

$$\zeta_{ij} = \frac{\min_k \min_i \Delta i(k) + \rho \max_k \max_i \Delta i(k)}{\Delta i(k) + \rho \max_k \max_i \Delta i(k)}$$

其中判别系数 ρ 取 0.50,再根据公式

$$r_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \zeta_{ij}(k) \text{ 计算关联度 } r_{ij}。$$

2 结果分析

根据新疆阜康荒漠 7 个红砂亚种群调查所得数据,计算结果见表 3。

2.1 构件间的关联度分析

2.1.1 植株冠幅(南北直径与东西直径)和高度

通过分析显示,对于 X_1 (冠幅南北直径),关联度大($r_{ij} > 0.65$)的因子有 Y_3 (植株高度)、 Y_{11} (二级

表 1 样地环境条件概况
Table 1 Environmental survey of the sample plots

环境因子 Environmental factors		亚种群 1 Subp. 1	亚种群 2 Subp. 2	亚种群 3 Subp. 3	亚种群 4 Subp. 4	亚种群 5 Subp. 5	亚种群 6 Subp. 6	亚种群 7 Subp. 7
地理因子 Geographical factors	纬度(N) Latitude (Y ₂₁)	44°21′	44°19′	44°17′	44°15′	44°12′	44°10′	44°07′
	经度(E) Longitude (Y ₂₂)	87°52′	87°51′	87°53′	87°51′	87°50′	87°51′	87°50′
	海拔(m) Altitude (Y ₂₃)	453	451	469	470	483	506	526
土壤因子 Soil factors	OR (Y ₂₄)	0.293	0.680	0.884	1.627	0.590	0.536	1.672
	Nt (Y ₂₅)	0.020	0.041	0.052	0.073	0.031	0.028	0.093
	Pt (Y ₂₆)	0.045	0.069	0.086	0.069	0.069	0.063	0.106
	Kt (Y ₂₇)	2.424	2.604	2.277	2.554	2.494	1.895	2.483
	Con (Y ₂₈)	0.660	6.089	7.873	6.530	5.967	4.597	4.643
	W (Y ₂₉)	2.471	12.946	11.855	9.078	10.236	13.542	10.258
	CO ₃ ²⁻ (Y ₃₀)	0.023	0.004	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001
	HCO ₃ ⁻ (Y ₃₁)	0.026	0.017	0.012	0.024	0.014	0.027	0.028
	SO ₄ ²⁻ (Y ₃₂)	0.022	1.426	1.479	0.831	0.801	0.677	0.738
	Cl ⁻ (Y ₃₃)	0.014	0.074	0.258	0.322	0.385	0.244	0.265
	K ⁺ + Na ⁺ (Y ₃₄)	0.036	0.539	0.512	0.593	0.430	0.407	0.276
	Ca ²⁺ (Y ₃₅)	0.002	0.146	0.246	0.073	0.142	0.071	0.197
	Mg ²⁺ (Y ₃₆)	0.001	0.015	0.047	0.053	0.025	0.037	0.018
	pH (Y ₃₇)	8.933	8.422	8.433	8.400	8.167	8.433	8.400

OR: 有机质 Soil organic matter (%) Nt: 总氮 Soil total nitrogen (%) Pt: 总磷 Soil total phosphate (%) Kt: 总钾 Soil total potassium (%) Con: 电导率 Soil conductivity (ms·cm⁻¹) W: 含水量 Soil water (%) CO₃²⁻: 碳酸根离子 Aqueous carbonate (%) HCO₃⁻: 碳酸氢根离子 Aqueous hydrocarbonate (%) SO₄²⁻: 硫酸根离子 Aqueous sulphate (%) Cl⁻: 氯离子 Aqueous chlorine ion (milliequivalent·(100 g)⁻¹ soil) K⁺ + Na⁺: 钾钠离子 Aqueous potassium- sodium ion (milliequivalent·(100 g)⁻¹ soil) Ca²⁺: 钙离子 Aqueous calcium ion (milliequivalent·(100 g)⁻¹ soil) Mg²⁺: 镁离子 Aqueous magnesium ion (milliequivalent·(100 g)⁻¹ soil)

分枝高度)、Y₈(二级分枝长度)、Y₁₇(二级分枝径粗), Y₁₀(一级分枝高度), Y₇(一级分枝长度); X₂(冠幅东西直径)则与因子 Y₃(植株高度)、Y₁₉(当年生枝长度)、Y₉(三级分枝长度)、Y₁₄(二级分枝分枝角度)、Y₆(三级分枝数)、Y₁₁(二级分枝高度)的关联度大。两者与其它因子的关联度值基本接近,也相对较大(0.50~0.65)。

结果表明,红砂种群植株高度(X₃)在构件水平上与 Y₄(一级分枝数)、Y₁₉(当年生枝长度)、Y₁₈(三级分枝径粗)、Y₈(二级分枝长度)、Y₁₅(三级分枝分枝角度)、Y₆(三级分枝数)等因子的关联值较大。

2.1.1.2 一级分枝构件系统

红砂种群的一级分枝数(X₄),分枝长度(X₇),高度(X₁₀),分枝角度(X₁₃)和径粗(X₁₆)表现出较为复杂的情况。结果中可以看出,红砂种群一级分枝数与三级分枝数(Y₆)、植株高度(Y₃)、三级分枝长度(Y₉)、一级分枝高度(Y₁₀)、三级分枝角度(Y₁₅)、二级分枝数(Y₅)和当年生枝分枝角度(Y₂₀)等因子的关联度较大。同时,与红砂种群一级分枝长度(X₇)的关联度较大的构件因子包括一、二、三级分枝角度(Y₁₃、Y₁₄、Y₁₅)和分枝高度(Y₁₀、Y₁₁、Y₁₂)、当

年生分枝长度(Y₁₉)以及冠幅南北直径(Y₁)等。对于一级分枝高度(X₁₀),则与当年生枝长度(Y₁₉)、二级分枝高度(Y₁₁)、三级分枝角度(Y₁₅)、三级分枝径粗(Y₁₈)、一级分枝长度(Y₇)、一级分枝数目(Y₄)和三级分枝高度(Y₁₂)关联度较大。而一级分枝的角度(X₁₃)与因子 Y₉(三级分枝长度)、Y₁₄(二级分枝数)、Y₂₀(当年生枝分枝角度)、Y₁₆(一级分枝径粗)、Y₁₀(一级分枝高度)、Y₁₈(三级分枝径粗)呈现出较高的关联。一级分枝的径粗(X₁₆)则与 Y₉(三级分枝长度)、Y₂₀(当年生枝分枝角度)、Y₁₈(三级分枝径粗)、Y₁₉(当年生枝长度)、Y₁₃(一级分枝角度)、Y₁₇(二级分枝径粗)等因子的相关度高,表明一级分枝的径粗愈大,能够支持的其它各级分枝的径粗和长度就愈大。

2.1.1.3 其它各级分枝构件系统

阜康荒漠红砂自然种群构件的二级分枝数目(X₅)、长度(X₈)及其高度(X₁₁)都与一级分枝高度(X₁₀)的关联度较大,当一级分枝距离地面较高时,植物能够用于生长枝叶的空间会相对较多。另外,二级分枝数目(X₅)和二级分枝径粗(X₁₇)均与一级分枝径粗(X₁₆)相关较大,因为后者为前者提供着生

表 3 因子间灰色关联度(r_{ij})
Table 3 The grey relatedness degrees among the factors(r_{ij})

X_i	Y_j																	
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}	Y_{17}	Y_{18}
X_1	1	0.560 8	0.734 7	0.557 1	0.556 8	0.535 0	0.653 1	0.687 5	0.620 9	0.653 9	0.688 9	0.620 7	0.579 3	0.546 0	0.625 7	0.508 4	0.662 7	0.596 7
X_2		1	0.773 4	0.594 1	0.645 1	0.711 5	0.632 2	0.593 5	0.714 0	0.619 4	0.682 9	0.636 4	0.644 1	0.712 5	0.620 3	0.557 5	0.558 8	0.603 5
X_3			1	0.723 0	0.579 1	0.630 5	0.559 3	0.679 6	0.595 9	0.582 1	0.597 8	0.603 8	0.567 8	0.547 8	0.635 2	0.609 1	0.535 5	0.690 3
X_4				1	0.649 4	0.786 4	0.629 3	0.588 6	0.662 2	0.658 2	0.530 3	0.628 1	0.627 5	0.543 8	0.658 7	0.519 9	0.576 2	0.547 3
X_5					1	0.659 1	0.635 3	0.548 3	0.670 8	0.697 7	0.664 0	0.697 4	0.614 7	0.674 7	0.864 3	0.654 2	0.663 8	0.750 0
X_6						1	0.578 6	0.616 0	0.721 7	0.686 5	0.516 3	0.576 2	0.645 5	0.600 2	0.660 2	0.590 6	0.720 4	0.576 7
X_7							1	0.601 0	0.562 1	0.706 2	0.693 4	0.691 0	0.659 5	0.699 4	0.715 9	0.504 5	0.528 2	0.570 1
X_8								1	0.683 2	0.680 4	0.624 4	0.544 7	0.599 2	0.600 2	0.621 1	0.641 3	0.687 8	0.679 4
X_9									1	0.645 6	0.616 9	0.598 1	0.737 3	0.630 3	0.627 6	0.776 0	0.565 5	0.618 3
X_{10}										1	0.711 8	0.656 9	0.651 7	0.645 4	0.711 3	0.579 5	0.619 1	0.710 8
X_{11}											1	0.706 5	0.586 5	0.683 4	0.797 1	0.519 1	0.595 9	0.678 5
X_{12}												1	0.590 9	0.627 1	0.706 1	0.611 5	0.571 3	0.723 5
X_{13}													1	0.700 7	0.575 2	0.664 3	0.492 7	0.650 7
X_{14}														1	0.609 5	0.632 1	0.531 3	0.523 3
X_{15}															1	0.636 8	0.605 8	0.568 8
X_{16}																1	0.661 2	0.703 7
X_{17}																	1	0.644 3
X_{18}																		1
X_{19}																		
X_{20}																		

X_i	Y_j																		
	Y_{19}	Y_{20}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	Y_{26}	Y_{27}	Y_{28}	Y_{29}	Y_{30}	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}	Y_{36}	Y_{37}
X_1	0.639 6	0.626 7	0.642 6	0.543 7	0.652 4	0.634 4	0.663 5	0.683	0.602 3	0.609 2	0.644 5	0.543 6	0.564 0	0.659 3	0.644 9	0.549 4	0.588 4	0.653 0	0.779 6
X_2	0.755 2	0.631 8	0.698 0	0.622 4	0.678 6	0.700 3	0.657 7	0.608 1	0.600 3	0.645 4	0.519 8	0.638 9	0.747 4	0.568 9	0.591 6	0.675 5	0.539 6	0.689 9	0.630 3
X_3	0.702 3	0.568 3	0.616 9	0.590 7	0.719 7	0.654 7	0.666 6	0.727 6	0.572 8	0.647 5	0.598 5	0.652 5	0.619 1	0.576 1	0.588 7	0.687 0	0.671 7	0.664 2	0.608 7
X_4	0.570 5	0.644 4	0.767 7	0.620 1	0.799 6	0.582 2	0.749 0	0.653 9	0.663 7	0.745 5	0.580 3	0.581 7	0.649 5	0.584 4	0.677 2	0.648 0	0.576 2	0.605 1	0.599 3
X_5	0.802 6	0.769 0	0.642 1	0.612 3	0.618 4	0.596 2	0.618 8	0.521 5	0.617 7	0.526 2	0.629 0	0.618 5	0.671 9	0.660 6	0.645 0	0.624 0	0.686 1	0.684 5	0.637 2
X_6	0.654 7	0.776 3	0.701 8	0.636 0	0.636 1	0.708 1	0.714 8	0.571 6	0.552 4	0.736 9	0.537 0	0.632 7	0.607 2	0.613 3	0.773 4	0.663 0	0.592 5	0.561 7	0.730 1
X_7	0.686 5	0.647 0	0.684 2	0.735 0	0.654 1	0.695 9	0.761 6	0.668 6	0.572 4	0.745 7	0.572 4	0.651 1	0.617 2	0.688 3	0.708 3	0.623 6	0.616 0	0.596 9	0.628 4
X_8	0.646 5	0.605 8	0.744 8	0.695 1	0.667 2	0.633 3	0.635 8	0.590 8	0.485 2	0.729 9	0.706 5	0.607 4	0.645 0	0.747 1	0.653 8	0.680 6	0.622 6	0.687 3	0.655 9
X_9	0.700 2	0.637 2	0.581 7	0.523 8	0.659 6	0.629 8	0.599 0	0.643 3	0.602 8	0.757 7	0.657 5	0.543 8	0.666 1	0.678 2	0.665 6	0.710 3	0.635 1	0.690 5	0.770 2
X_{10}	0.726 5	0.588 2	0.748 5	0.699 4	0.635 9	0.649 5	0.715 2	0.692 6	0.769 3	0.724 3	0.773 5	0.646 6	0.711 8	0.734 8	0.818 6	0.816 9	0.674 3	0.641 0	0.583 8
X_{11}	0.631 7	0.670 6	0.717 5	0.634 3	0.607 0	0.619 0	0.573 7	0.615 9	0.615 6	0.746 3	0.528 1	0.708 5	0.600 1	0.642 4	0.804 1	0.607 0	0.692 7	0.558 2	0.764 8
X_{12}	0.733 2	0.702 7	0.615 8	0.624 4	0.646 2	0.697 6	0.638 3	0.632 0	0.611 8	0.728 2	0.582 0	0.666 8	0.741 2	0.597 1	0.836 1	0.590 1	0.616 1	0.583 0	0.674 1
X_{13}	0.530 5	0.684 1	0.561 6	0.713 0	0.552 0	0.549 2	0.592 1	0.548 0	0.679 7	0.605 1	0.562 3	0.613 2	0.679 3	0.633 1	0.724 5	0.647 9	0.781 6	0.723 5	0.766 4
X_{14}	0.655 3	0.737 0	0.663 1	0.612 0	0.769 8	0.615 4	0.648 5	0.547 9	0.725 7	0.782 1	0.680 5	0.543 5	0.663 4	0.601 5	0.599 8	0.614 7	0.607 2	0.741 7	0.672 0
X_{15}	0.658 7	0.655 8	0.636 0	0.723 8	0.768 1	0.644 7	0.705 2	0.753 9	0.618 2	0.590 7	0.712 8	0.671 2	0.628 1	0.616 2	0.637 3	0.663 0	0.711 4	0.680 0	0.558 5
X_{16}	0.679 6	0.705 6	0.791 4	0.507 6	0.613 7	0.657 3	0.628 7	0.577 6	0.632 3	0.690 4	0.716 0	0.532 0	0.749 3	0.587 3	0.661 6	0.651 5	0.612 3	0.660 5	0.578 8
X_{17}	0.677 0	0.701 0	0.649 0	0.558 8	0.598 1	0.696 5	0.716 0	0.688 8	0.577 7	0.537 7	0.669 4	0.728 4	0.726 8	0.625 7	0.619 9	0.558 2	0.573 7	0.549 2	0.684 2
X_{18}	0.687 3	0.604 4	0.710 9	0.657 4	0.622 6	0.650 4	0.587 3	0.613 9	0.566 7	0.700 4	0.630 7	0.584 7	0.619 3	0.656 7	0.609 6	0.705 2	0.661 6	0.784 4	0.630 0
X_{19}	1	0.796 9	0.691 4	0.571 2	0.568 9	0.689 2	0.644 2	0.634 4	0.559 6	0.765 2	0.796 1	0.546 7	0.691 4	0.521 0	0.784 2	0.750 9	0.619 7	0.755 1	0.562 2
X_{20}		1	0.658 8	0.588 8	0.653 4	0.786 0	0.806 7	0.582 1	0.690 6	0.604 9	0.647 5	0.654 4	0.635 5	0.677 4	0.735 2	0.658 1	0.663 5	0.683 8	0.670 7

基质。

对于红砂种群而言,三级分枝系统在表征其种群的生长状况时占有相当的位置。三级分枝数目(X_6)、长度(X_9)、高度(X_{12})、分枝角度(X_{15})和径粗(X_{18})都与二级分枝数目(X_5)、当年生枝长度(X_{19})相关值较大。在三级分枝系统的构件因子中分枝角度(X_{15})与 Y_5 (二级分枝数)($r_{ij}=0.864\ 3$)、 Y_{11} (二级分枝高度)、 Y_7 (一级分枝长度)、 Y_{10} (一级分枝高度)、 Y_{12} (三级分枝高度)、 Y_6 (三级分枝数)、 Y_{19} (当年生枝长度)、 Y_{20} (当年生枝分枝角度)等的关联度大,而分枝角度在一定程度上又决定着同级分枝及下一级分枝构件的空间分布范围,进而它直接或间接地影响着植物的光合作用及生物量。由此也可以看出,红砂种群的各级构件在生理上具有一定的整合作用。

当年生枝直接反映植物下一生长季的发展情况,因此也是阜康红砂种群构件结构中比较重要的特征。总的来看,当年生枝系统内两个因子(X_{19} 和 X_{20})间具有大的关联($r_{ij}=0.796\ 9$),说明该系统内因子存在一定程度的相互影响。对其它分枝系统而言,当年生枝长度(X_{19})与二级分枝数目(X_5)的关联值很大($r_{ij}=0.802\ 6$),与植株冠幅东西直径、高度、一级分枝高度、三级分枝高度等各构件也有较高的关联度;当年生枝角度则与二级分枝数目、三级分枝数目、二级分枝角度、一和二级分枝径粗等因子关联度大。

2.2 环境因子与构件之间的关联度

环境因子与各构件指标间的关联度值见表 3。由于所选构件指标基本可以反映红砂个体地上部分的生长情况,因此可以利用关联度均值来评价各环

境因子对整个植株生长的影响。关联度均值按以下公式算出(付永川等,1999):

$$R_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N r_{ij} \quad (i = 1 \cdots 17, j = 1 \cdots 20)$$

其中, R_{ij} 为第 i 个环境因子与构件指标关联度的均值; N 为构件指标数; r_{ij} 为第 i 个环境因子与第 j 个构件指标的灰色关联度。结果显示各因子与构件指标的关联表现出一定规律。关联度均值大小依次为: 土壤 Cl^- 含量(0.689 0) > 土壤电导率(0.681 0) > 纬度(0.676 2) > 土壤总氮含量(0.666 1) > 土壤 HCO_3^- 含量(0.661 7) > 土壤 Mg^{2+} 含量(0.659 7) > 土壤 pH 值(0.659 3) > 土壤 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量(0.656 2) > 海拔(0.656 1) > 土壤有机质含量(0.654 5) > 土壤含水量(0.637 2) > 土壤 Ca^{2+} 含量(0.637 1) > 土壤 SO_4^{2-} 含量(0.633 5) > 土壤总磷含量(0.627 8) > 经度(0.623 5) > 土壤 CO_3^{2-} 含量(0.618 3) > 土壤总钾含量(0.615 8)。

就总体而言,上述的关联值均较高,说明这些环境因子与红砂种群的生长关系密切。其中土壤 Cl^- 含量和土壤电导率是影响阜康荒漠红砂种群比较重要的环境因子,而土壤总钾含量则是相对次要的因子。土壤 Cl^- 含量(Y_{33})与红砂种群各级分枝系统构件的关联度均值最大,它除了与一级分枝和当年生枝系统的各构件因子有高的相关度外,它还与一、二、三级分枝的高度(Y_{10}, Y_{11}, Y_{12})相关。土壤电导率(Y_{28})与二级分枝角度(Y_{14}),当年生枝和一、二、三级分枝长度(Y_7, Y_8, Y_9),一级分枝数(Y_4),三级分枝数(Y_6),一、二、三级分枝高度(Y_{10}, Y_{11}, Y_{12}),三级分枝径粗(Y_{18}),一级分枝径粗(Y_{16})等的关联值大。

3 讨 论

一个植株是一个拟种群(White, 1979)。通过构件种群统计,掌握构件种群动态规律,结合分枝角度、节间长度等参数,便可以确定植物形态结构及生长格局(Jones, 1985; Maillate, 1985)。本试验选择了 20 个构件指标来反映整株植物的生长情况,就个体而言每一构件种群作为其上的一部分,都或多或少地反映出整株的生长态势。将所有的构件种群结合起来则可以较为客观地体现植物个体的生长发育状况。

在表 3 中可以显示出,随着红砂植株冠幅的增大,植株高度明显增加;而且植株冠幅与植株的一级分枝系统和当年生枝系统的因子相关度大,表明植株冠幅是表征红砂生长情况的重要指标。这与已有

的关于红砂植株冠幅与其生物量有十分密切关系(刘速等,1996)的报道相一致。植株高度也是衡量植物生长的一个主要因子,通常一种植物个体和种群的高度可以反映出其在群落中的地位。植株高低往往会决定一个植物体对光照资源的占有量和对其它植物的影响程度。刘玉成等(1996)在对缙云山大头茶(*Gordonia acuminata*)的种群构件研究中发现,植株高度随一级分枝数等因子的变化不很大,认为它是一个相对较稳定的特征。对红砂而言,在构件水平上,红砂种群的植株高度与一级分枝数、当年生枝长度、三级分枝径粗、二级分枝长度、三级分枝分枝角度、三级分枝数等因子的关联值较大,进而影响着整个植株的生长。

在一级分枝系统的研究中发现,系统内的一级分枝高度与一级分枝数、长度及分枝角度有较大的关联度,但与径粗关联度相对较小,说明一级分枝系统内后者的变化与前四者并不完全相似,表现出一定的异质性。一级分枝系统是其它各级分枝系统的基础,它与其它分枝系统之间以及同一级分枝的构件因子间的相关性,在一定程度上说明了红砂自然种群构件组成间的整合作用。在二级分枝系统中,一方面,该级分枝各构件特征值同一级分枝的关联度,反映了红砂种群构件结构一定程度的整合作用;另一方面,二级分枝构件系统内的分枝数、分枝角度、径粗间表现出了一定的高相关性,说明它们的变化特征比较相似,受其它因子作用的反映具较高的一致性。红砂具有生长低矮、基部分枝强烈的特点(马茂华等,1998)。因而在某种意义上可以说,一级分枝系统是红砂植株的基础,三级分枝系统和当年生枝系统则是二级分枝系统的派生物,它们之间的关联性表明了红砂种群构件组成间的整合作用。

气候因子对植物的生长发育和分布有着决定性的作用,而在同一气候区域,土壤条件决定植物的生长发育状况与分布。研究表明,尽管红砂被称为超旱生植物,其叶的水势可达 - 50 MPa 或 - 60 MPa(刘家琼等,1982),但它对土壤有机质、氮、磷等营养元素的要求较高(与白梭梭(*Haloxylon persicum*)相比),因此无法生长在干旱贫瘠的沙丘上;同时由于其耐盐碱的特性,故而能够在含盐量和 pH 值均较高的丘间平地上生长(李小明,1986)。本文提出,土壤 Cl^- 含量和土壤电导率是影响阜康荒漠红砂种群的主要环境因子。在阜康荒漠红砂种群的遗传多样性研究中也发现,7 个红砂亚种群的遗传多样性指数与其相应微生境中的土壤 Cl^- 含量呈显著的负相

关(徐莉等,2003)。从而表明,土壤 Cl^- 含量对红砂种群的生命活动具有重要意义。李俊清等(2001)指出,在木本植物的生长发育过程中,自然选择起到了十分重要的作用,由于木本植物生命周期长,所以选择的压力就更大,这种作用不仅体现在个体水平上,同时也体现在种群水平上。为了考察基因型与生活力的这种关系,必须把植物的形态发育和遗传特性综合比较,才能更有力地揭示自然选择对植物形态塑造作用的机制和规律。土壤电导率反映了土壤中的盐分含量水平,阜康荒漠红砂种群主要分布于天山东段博格达峰的山前洪积和冲积平原,该种为泌盐性盐生植物,其生境土壤一般为灰棕荒漠土,在荒漠灰钙土上也有生长,而且能够在盐渍化以至强盐渍化的土壤上生活良好。吴志芬等(1994)报道,盐生植被的类型、空间分布、生物累积强度和演替等方面与土壤含盐量的关系极为密切。土壤电导率是土壤中多种盐分的综合指标,受到多种因素的影响,因此它对红砂种群的影响应该表现为多因子综合作用的结果。这与试验结果中各环境因子与整个植株生长的高相关度是一致的。由此可以看出,环境因子通过作用于植物的主要构件来表现对植物种群生长的可塑性,从构件水平对植物种群与环境因子的相互作用进行深入探讨,将为认识植物种群和群落动态发展演化机理的研究提供新的思路。

参 考 文 献

Fu, Y. C. (付永川), Z. Q. Xiang(向志强), L. H. Guo(郭力华), Y. C. Liu(刘玉成)& D. L. Du(杜道林). 1999. Ecological effects of different environmental factors on the modular structure of the young tree population of *Cephalotaxus mannii*. Natural Science Journal of Hainan University(海南大学学报自然科学版), **17**(1): 64 ~ 69. (in Chinese with English abstract)

Harper, J. L. & A. D. Bell. 1979. The population dynamics of growth form in organisms with modular growth. In: Anderson, R. M., B. D. Turner & L. R. Taylor eds. Population dynamics. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 29 ~ 52.

Harper, J. L. 1980. Plant demography and evolutionary theory. *Oikos*, **35**: 244 ~ 253.

Jones, M. 1985. Modular demography and form in silver birch. In: White, J. ed. Studies on plant demography: a festschrift for John L. Harper. London: Academic Press. 223 ~ 237.

Li, J. Q. (李俊清), R. G. Zang (臧润国) & Y. X. Jiang (蒋有绪). 2001. Review on studies of architecture and morphological diversity for *Fagus sylvatica* L. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**: 151 ~ 155. (in Chinese with English abstract)

Li, Y. X. (黎云祥), Y. C. Liu(刘玉成) & Z. C. Zhong(钟章

成). 1995. Modular theory in plant population ecology. *Chinese Journal of Ecology* (生态学报), **14**(6): 35 ~ 41. (in Chinese with English abstract)

Li, X. M. (李小明). 1986. Primary study on the distributing restriction of *Haloxylon ammodendron*, *Haloxylon persicum* and *Reaumuria soongorica* from soil factors in Mosuowan Region. *Arid Zone Research*(干旱区研究), **3**: 30 ~ 33. (in Chinese with English abstract)

Liu, J. Q. (刘家琼), M. X. Qiu(邱明新), J. C. Pu(蒲锦春)& Z. M. Lu(鲁作民). 1982. The typical extreme xerophyte — *Reaumuria soongorica* in the desert of China. *Acta Botanica Sinica*(植物学报), **24**: 485 ~ 488. (in Chinese with English abstract)

Liu, S. (刘速) & X. Y. Liu (刘晓云). 1996. The estimating model of upper plant weight on *Reaumuria soongorica* semishrub. *Arid Zone Research*(干旱区研究), **13**: 36 ~ 41. (in Chinese with English abstract)

Liu, Y. C. (刘玉成), D. L. Du(杜道林) & Q. Yue(岳泉). 1994. Analysis of the relatedness of dominant populations and ecological factors in the secondary successions forest communities of Jinyun Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), **18**: 283 ~ 289. (in Chinese with English abstract)

Liu, Y. C. (刘玉成), Y. X. Li(黎云祥), J. Su(苏杰) & D. L. Du(杜道林). 1996. Multivariate analysis of the ecological factors and the modular structure of *Gordonia acuminata* young tree population in Mountain Jinyun, Sichuan, China. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), **20**: 338 ~ 347. (in Chinese with English abstract)

Maillette, L. 1985. Modular demography and growth patterns of two annual weeds (*Chenopodium album* L. and *Spergula arvensis* L.) in relation to flowering. In: White, J. ed. Studies on plant demography: a festschrift for John L. Harper. London: Academic Press. 239 ~ 255.

Ma, M. H. (马茂华) & L. S. Kong(孔令韶). 1998. The bio-ecological characteristics of *Reaumuria soongorica* on the border of oasis at Hutubi, Xinjiang. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), **22**: 237 ~ 244. (in Chinese with English abstract)

The Agrochemistry Committee of the Soil Institute of China(中国土壤学会农业化学专业委员会主编). 1983. Routine analysis techniques of soil agrochemistry. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 195 ~ 221. (in Chinese)

White, J. 1979. The plant as a metapopulation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **10**: 109 ~ 145

White, J. 1984. Plant metamerism. In: Dirzo, R. & J. Sarukhan eds. Perspectives on plant population ecology. Sunlander, Massachusetts: Sinauer. 15 ~ 47.

Wu, Z. F. (吴志芬), S. L. Zhao (赵善伦) & X. L. Zhang (张学雷). 1994. Studies on interrelation between salt vegetation and soil salinity in the Yellow River delta. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), **18**: 184 ~ 193. (in Chinese with English abstract)

Xu, L. (徐莉), Y. L. Wang (王玲), X. M. Wang (王戌梅), L. J. Zhang (张林静), M. Yue (岳明), F. Z. Gu (顾峰雪), X. L. Pan (潘晓玲) & G. F. Zhao (赵桂仿). 2003. Genetic structure of *Reaumuria soongorica* population in Fukang Desert, Xinjiang and its relationship with ecological factors. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **45**: 787 ~ 794. (in English with Chinese abstract)