

网络出版时间:2014-10-16 14:32

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.098

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.098.html

生物活性水对酿酒葡萄蛇龙珠品质和糖酸积累规律的影响

林 聪^{a,b},王振平^a,周 兴^a,李文超^a,代红军^b

(宁夏大学^a葡萄与葡萄酒教育部工程研究中心,^b农学院,宁夏 银川 750021)

【摘 要】 【目的】探讨生物活性水对酿酒葡萄品质和糖酸积累规律的影响,为酿酒葡萄栽培及葡萄品质的提高提供理论依据。【方法】以蛇龙珠酿酒葡萄为试验材料,分别将稀释 50,100,200 和 400 倍的生物活性水于葡萄花后 30 d 进行叶面喷施,以喷施清水为对照,每隔 7 d 喷施 1 次,共喷施 3 次后,于花后 53 d 开始每隔 7 d 采样 1 次果实样品至采收期结束,测定并分析样品的总糖、还原糖、可滴定酸、色素、单宁、总酚含量以及与糖代谢相关转化酶活性的变化。【结果】生物活性水对葡萄果实可溶性总糖含量影响不明显,但能有效提高还原糖含量而降低总酚含量,且对可滴定酸、色素、单宁等均有明显影响,尤其是稀释 400 倍的生物活性水,其处理葡萄果实可滴定酸含量较对照提高了 7.70%,色素提高了 23.53%,葡萄皮单宁含量提高了 39.13%,糖酸比降低了 7.60%。不同稀释倍数的生物活性水均可以提高可溶性酸性转化酶和细胞壁酸性转化酶活性,此外,稀释 50 和 100 倍的生物活性水处理可以提高中性转化酶活性。【结论】生物活性水对葡萄果实品质有显著影响,适时合理喷施稀释 400 倍的生物活性水可有效提高葡萄果实的品质。

【关键词】 生物活性水;酿酒葡萄;果实品质;糖酸积累

【中图分类号】 S663.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)11-0099-07

Effects of Bacteria Mineral Water on fruit quality and sugar and acid accumulation of wine grape *Cabernet gersicht*

LIN Cong^{a,b}, WANG Zhen-ping^a, ZHOU Xing^a, LI Wen-chao^a, DAI Hong-jun^b

(^a Grape and Wine Education Department Technology Research Center,

^b School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effect of Bacteria Mineral Water on fruit quality and sugar and acid accumulation of wine grapes, aiming to provide theoretical basis for improving viticulture and grape quality. 【Method】 Wine grape *Cabernet gersicht* was chosen, and 50, 100, 200 and 400 times diluted Bacteria Mineral Water was sprayed in the grapes leaves every 7 d for three times since 30 d after flowering. Clean water was selected as control group. Samples were collected every 7 d from 53 d after flowering to the end of harvest. Total soluble sugar, reducing sugar, titratable acidity, anthocyanin, tannin and glucose metabolism-related invertase activity of the samples were measured. 【Result】 Bacteria Mineral Water had little effect on total soluble sugar of grape berries, but it increased reducing sugar content and reduced the total phenol content. It also had effect on titratable acidity, anthocyanin and tannin. Especially, the 400 times diluted Bacteria Mineral Water increased the content of grape titratable acidity by 7.70%, in-

【收稿日期】 2013-08-04

【基金项目】 宁夏回族自治区自然科学基金项目(NZ1125)

【作者简介】 林 聪(1987—),男,湖北随州人,在读硕士,主要从事果树生理与生化研究。E-mail:linchm53@163.com

【通信作者】 代红军(1967—),女,宁夏银川人,教授,博士,硕士生导师,主要从事果树生理生化研究。E-mail:dai_hj@nxu.edu.cn

creased the pigment by 23.53%, increased tannin of grape skin by 39.13%, while decreased the ratio of sugar to acid by 7.60%. Bacteria Mineral Water also increased the soluble acid invertase and cell-wall acid invertase activity, and the 50 and 100 times diluted Bacteria Mineral Water improved neutral invertase activity. 【Conclusion】 The effect of Bacteria Mineral Water on grape quality was significant, and 400 times diluted Bacteria Mineral Water could effectively improve fruit quality.

Key words: Bacteria Mineral Water; wine grape; quality; sugar acids accumulation

葡萄酒的质量很大程度上取决于酿酒葡萄原料的品质^[1],而糖和酸含量是评价优质酿酒葡萄的基础指标。糖酸含量的高低决定着葡萄酒的酒度和风味,此外色素、香气和酚类物质的形成也与糖有关。提高葡萄原料的品质主要从品种自身内在因素与外界环境两方面来着手,对于特定的酿酒葡萄品种,不易改变其内在因素,但可以人为改变外界环境因子^[2]。目前,已有很多有关外界环境对葡萄品质影响的研究,但多集中在整形修剪^[3-4]、疏花疏果减少负载量^[5-8]、施肥改善土壤条件^[8-11]以及应用外源植物生长调节剂^[12-13]来提高葡萄品质等方面。生物活性水是一种新型循环农业技术的产物,是采用“BMW”(Bacteria, Mineral, Water)技术处理畜禽粪便污水,利用自然界中的微生物、矿物质及水创造出类似自然净化系统的人工循环系统,由此生产的含有多胺类物质的液体^[14-15]。据报道,日本早在 20 多年前就已有生物活性水,并直接为农场企业或农民采用,使用效果良好。在国内,也有少量关于生物活性水在农作物上应用的研究报道^[16-17],但在果树上的研究却很少。为此,本研究采用田间试验,通过测定葡萄果实可溶性糖、可滴定酸、色素、单宁等品质指标及糖代谢相关酶活性的变化,探讨生物活性水对酿酒葡萄蛇龙珠果实品质及糖酸积累规律的影响,以期为我国酿酒葡萄的栽培及葡萄酒品质的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 葡萄品种及生物活性水 本试验于 2012 年在宁夏大学玉泉营葡萄基地(位于宁夏贺兰山东麓地区)和宁夏大学葡萄栽培生理实验室进行,选取生长发育一致、无病虫害的 5 年生欧亚种酿酒葡萄品种蛇龙珠(*Vitis vinifera* L. cv. *Cabernet gernerischt*)为试材,行距 3.5 m,株距 1 m,采用单臂篱架整枝,东西行向,常规管理。试验药剂生物活性水原液为中日合作“粪尿无害化处理技术研究”项目的产品。

1.1.2 主要生化试剂 蒽酮、硫酸、福林-丹尼斯

(F-D)、乙醇、氢氧化钠、无水碳酸钠、水合碳酸钠、聚乙烯吡咯烷酮(PVP)、3,5-二硝基水杨酸(DNS)、间苯二酚、盐酸、苯酚、无水亚硫酸钠、酒石酸钾钠、柠檬酸、磷钼酸、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、吐温-20、牛血清蛋白和蔗糖,以上试剂均为分析纯生化试剂。

1.2 试验方法

试验共设 4 个处理,即将生物活性水原液稀释 50(处理 A)、100(处理 B)、200(处理 C)、400 倍(处理 D)用于叶面喷施,以清水处理为对照(CK),每个处理选 30 株,10 株为 1 个小区,设置 3 个重复,随机区组设计。从花后 30 d(即转色期前半个月)开始,每隔 7 d 对葡萄进行 1 次叶面喷施,共喷施 3 次。从 08-08(即花后 53 d)开始,每隔 7 d 采样 1 次果实样品,直至采收期结束,每次采样时从各处理植株的上、中、下 3 个部位的 5~6 个果穗上采取大小均一的果实,液氮速冻后用冰盒带回实验室,贮于-80℃冰箱中备用。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 可溶性总糖、还原糖含量 总糖采用蒽酮-硫酸法^[18]测定,还原糖采用 DNS 法^[19]测定。

1.3.2 可滴定酸含量 采用酸碱滴定法^[20]测定。

1.3.3 色素含量 参照杨夫臣等^[21]改进的方法。准确称取葡萄果实粉末 0.5 g 于离心管中,加入 10 mL 乙醇(体积分数 70%)与柠檬酸(质量分数 0.5%)按体积比 5:1 混合而成的提取液,于 80℃恒温水浴锅中浸提 90 min,接着迅速用冰水冷却后,4 000 r/min 离心 15 min,冲洗 1 次,用原提取液定容到 100 mL,用紫外分光光度计在 530 nm 处测定其吸光度。

1.3.4 单宁含量 采用福林-丹尼斯法^[22]测定。

1.3.5 总酚含量 采用福林-肖卡法^[22]测定。

1.3.6 蔗糖转化酶活性 取花后 60~95 d 的样品,测定其蔗糖转化酶活性,其中可溶性酸性转化酶(Soluble acid invertase, SAI)、可溶性中性转化酶(Soluble neutral invertase, SNI)活性的测定参照 Lowell 等^[23]和 Hubbard 等^[24]的方法进行;细胞壁结合的酸性转化酶(Cell wall-bound acid invertase,

CBAID 活性的测定参照 Miron 等^[25]的方法进行。各指标重复测定 3 次,结果取平均值。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 版、DPS v7.05 版及 SAS 8.1 版软件对试验数据进行统计与分析,并采用新复数极差法进行差异性比较。

2 结果与分析

2.1 生物活性水对酿酒葡萄品质的影响

由表 1 可知,除稀释 400 倍生物活性水喷叶处理葡萄果实的可溶性总糖含量略有降低外,其余生物活性水处理葡萄果实的可溶性总糖含量均较对照有所提高,但差异均不显著;C 处理可以极显著降低总酸含量,D 处理可以极显著提高总酸含量;4 个生

物活性水处理均可以极显著提高果实的色素含量;A、C、D 处理可以极显著提高葡萄皮的单宁含量,B、C、D 处理可以极显著提高葡萄籽的单宁含量;除 D 处理外,其余处理葡萄果实的糖酸比均有不同程度的升高;不同生物活性水处理均可以降低葡萄果实的总酚含量,但只有 C 处理有极显著差异。A、B、C 处理较对照而言,葡萄果实色素分别提高了 48.53%,10.29%和 7.35%,葡萄皮单宁含量分别提高了 35.65%,23.04%和 37.39%,葡萄籽单宁含量分别提高了 0.33%,2.96%和 27.26%;较对照而言,D 处理葡萄果实可滴定酸含量提高了 7.70%,色素提高了 23.53%,葡萄皮单宁含量提高了 39.13%,糖酸比降低了 7.60%。总体来看,D 处理可以有效提高葡萄果实的整体品质。

表 1 生物活性水对酿酒葡萄品质的影响

Table 1 Effect of Bacteria Mineral Water on fruit quality of wine grapes

处理 Treatment	可溶性总糖/% Total soluble sugar	可滴定酸/ (mg·g ⁻¹) Titratable acidity	色素/(mg·g ⁻¹) Anthocyanin	单宁/(mg·g ⁻¹) Tannin		总酚/(mg·g ⁻¹) Total phenols	糖酸比 Ratio of sugar to acid
				葡萄皮 Grape skin	葡萄籽 Grape seed		
A	21.91 a	6.36 bB	1.01 aA	3.12 bA	6.11 cC	1.58 AB	34.4 bB
B	22.01 a	6.26 bB	0.75 bcB	2.83 cB	6.27 bB	1.59 AB	35.2 bB
C	22.07 a	5.82 cC	0.73 bcB	3.16 abA	7.75 aA	1.55 B	37.9 aA
D	21.70 a	6.85 aA	0.84 bA	3.20 aA	5.47 dD	1.57 AB	31.6 cC
CK	21.77 a	6.36 bB	0.68 cB	2.30 dC	6.09 cC	1.67 A	34.2 bB

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著,标不同大写字母表示差异极显著。
Note: Different small letters in each column mean significant difference, while different capital letters in each column mean very significant difference.

2.2 生物活性水对葡萄果实可溶性总糖积累的影响

生物活性水对葡萄果实发育过程中可溶性总糖积累的影响结果见图 1。

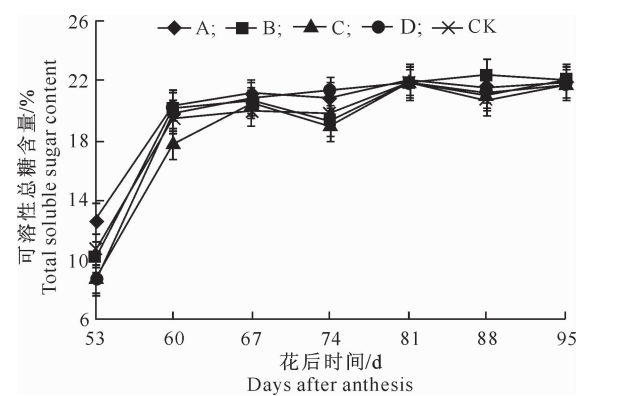


图 1 生物活性水对葡萄果实发育过程中可溶性总糖积累的影响

Fig. 1 Effect of Bacteria Mineral Water on grape fruit total soluble sugar accumulation during development of wine grapes

由图 1 可知,在葡萄转色早期,其果实的糖含量

较低,在花后 53~60 d 时,糖的积累很快;花后 60~81 d,糖的积累趋缓,至花后 81 d 时,糖的积累达到最高值;花后 81~95 d,糖含量基本趋于稳定。在生物活性水处理早期,A 处理可以明显地促进糖的积累,随着生物活性水稀释倍数的增大,其对糖积累的促进作用也随之减小,其中 C、D 处理有降低糖含量的趋势,在处理后期,A、B 处理对糖含量的积累表现出一定的促进作用。

2.3 生物活性水对葡萄果实中可溶性还原糖积累的影响

在酿酒葡萄果实中,可溶性总糖的主要成分是还原糖。生物活性水对葡萄果实中可溶性还原糖积累的影响结果见图 2。由图 2 可知,低稀释倍数的生物活性水处理可以提高葡萄果实可溶性还原糖含量,高稀释倍数的生物活性水处理有降低葡萄果实可溶性还原糖含量的作用。在喷施生物活性水处理早期(即花后 53~74 d),A、B 处理可以提高可溶性还原糖含量,C 处理有降低可溶性还原糖含量的作用,而在处理后期(即花后 88~95 d),A、B、C 处理均可以提高可溶性还原糖含量,且以 B 处理表现最

为稳定。

2.4 生物活性水对葡萄果实中 SAI 活性的影响

生物活性水对葡萄果实发育过程中可溶性酸性转化酶活性的影响结果见图 3。图 3 表明,在葡萄果实发育进入转色期后,不同生物活性水处理的 SAI 活性的变化趋势基本一致。花后 60~74 d,不同处理的 SAI 活性均逐渐增加,在花后 74 d 达到高

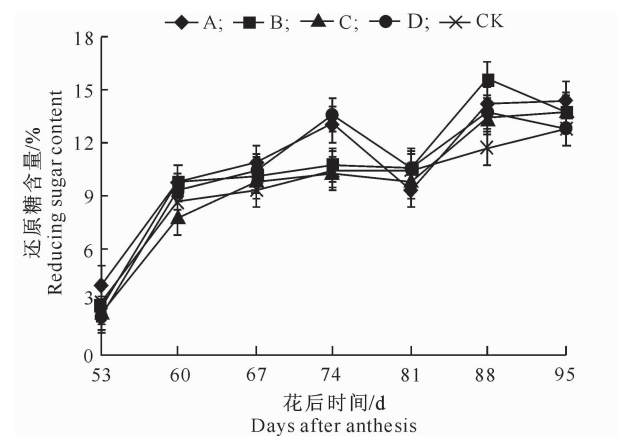


图 2 生物活性水对葡萄果实发育过程中可溶性还原糖积累的影响

Fig. 2 Effect of Bacteria Mineral Water on grape fruit reducing sugar accumulation during development of wine grapes

2.5 生物活性水对葡萄果实中 SNI 活性的影响

图 4 表明,在葡萄果实发育进入转色期后,在不同处理条件下,葡萄果实的 SNI 活性变化趋势基本一致。花后 60~67 d,SNI 活性显著下降;花后 67~81 d,SNI 活性总体呈增加趋势,之后 SNI 活性的变化逐渐趋于稳定状态。喷施生物活性水处理初期(即花后 60~74 d),A、B 处理的 SNI 活性高于对照;在花后 74~88 d,A、B、C 处理的 SNI 活性均高于对照,D 处理的 SNI 活性低于对照,而至采收期(花后 95 d),D 处理果实的 SNI 活性又有所增大,并显著高于对照。

2.6 生物活性水对葡萄果实中 CBAI 活性的影响

图 5 表明,在果实发育进入转色期后,不同生物活性水处理葡萄果实的 CBAI 活性的变化趋势基本一致,总体上均呈降低趋势。在花后 60~67 d,A、B、D 处理果实的 CBAI 活性逐渐增大,并于花后 67 d 达到高峰,67~74 d 降低,74~81 d 升高,并于 81 d 时再一次达到高峰,但此时各个处理(除 D 处理外)的 CBAI 活性均显著低于花后 67 d 时的活性;81~95 d 各处理 CBAI 活性呈下降趋势。C 处理和

峰,之后 SAI 活性逐渐降低。CK 处理的 SAI 活性在进入转色期后一直处于下降趋势。在处理前期(花后 60~67 d),A、B 处理的 SAI 活性明显高于对照(CK),在花后 74~95 d,A、B、C、D 处理的 SAI 活性均高于对照,且差异显著。4 个处理中,D 处理的 SAI 活性在转色期后的变化表现得相对较为稳定。

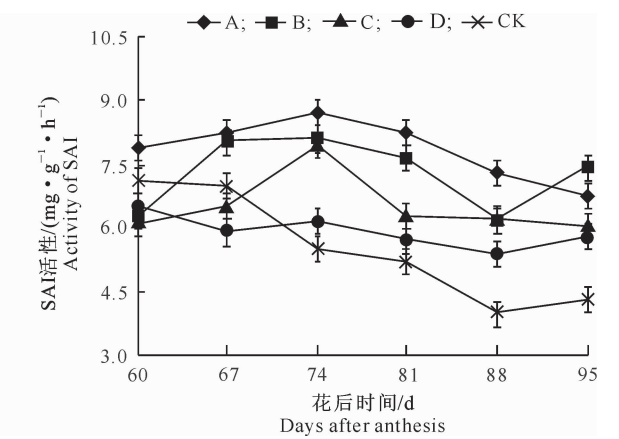


图 3 生物活性水对葡萄果实发育过程中可溶性酸性转化酶(SAI)活性的影响

Fig. 3 Effect of Bacteria Mineral Water on SAI activity during development of wine grapes

CK 的 CBAI 活性在花后 60~74 d 呈下降趋势,在花后 74~81 d 呈上升趋势,并于花后 81 d 时达到峰值,之后下降。在转色期后,不同生物活性水处理葡萄果实的 CBAI 活性均高于对照,且差异显著。

2.7 生物活性水对葡萄果实发育过程中可滴定酸含量的影响

由图 6 可见,不同处理葡萄果实发育过程中的可滴定酸含量在花后 53~67 d 均快速降低,而花后 67 d 之后,葡萄果实中的可滴定酸含量降低较慢。由图 6 可知,不同生物活性水处理对可滴定酸含量的影响有明显差异,且低稀释倍数的生物活性水有促进可滴定酸稳定的效果。在处理早期(即花后 53~67 d),A、B 处理可降低可滴定酸含量,且效果较为明显,随着生物活性水稀释倍数的增大,果实的可滴定酸含量呈增加趋势,且 D 处理的作用效果相对较强。在处理后期(即花后 74~95 d),C 处理果实可滴定酸含量较其他处理低,D 处理的可滴定酸含量较高。在果实的发育过程中,A、B 处理的可滴定酸含量在花后 80 d 已基本稳定。

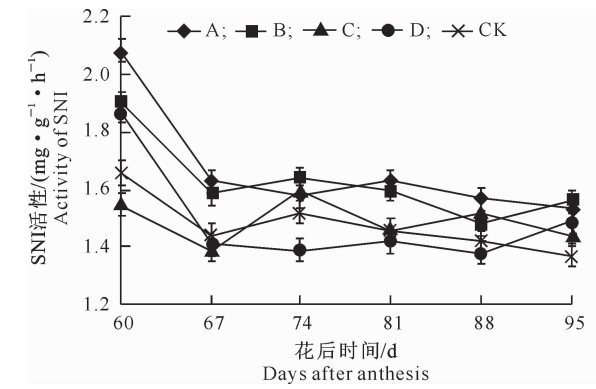


图 4 生物活性水对葡萄果实发育过程中可溶性中性转化酶(SNI)活性的影响

Fig. 4 Effect of Bacteria Mineral Water on SNI activity during development of wine grapes

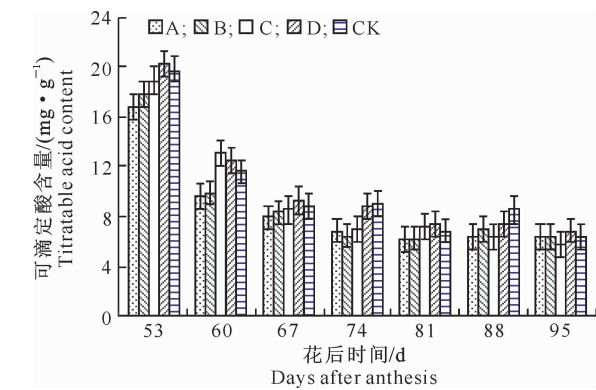


图 6 生物活性水对果实发育过程中可滴定酸含量的影响

Fig. 6 Effect of Bacteria Mineral Water on grape fruit titratable acid accumulation during development of wine grapes

3 讨 论

生物活性水不仅仅是生态环保液态肥,还可以作为植物调节剂^[26-27],为植物提供易被吸收的无机态营养物质以及有益微生物次级代谢物,对植物生长、生理具有重要影响,而且可以保护植物在逆境下生长,同时含有有益微生物,可改善土壤中好气性微生物活性,抑制病原微生物的繁衍。宁夏贺兰山东麓作为优质酿酒葡萄产区之一,土壤多为砂质土壤且地力贫瘠。本试验研究了不同稀释倍数的生物活性水对酿酒葡萄果实品质及果实发育过程中糖酸积累规律的影响,结果表明,生物活性水对葡萄的可溶性总糖含量影响不大,但可降低总酚含量及提高果实色素、葡萄皮单宁含量,这与马丽^[28]、田义等^[29]的报道相似,其原因可能是花色苷的形成需要可溶性糖^[30],色素显著升高,可溶性糖更多的参与色素的

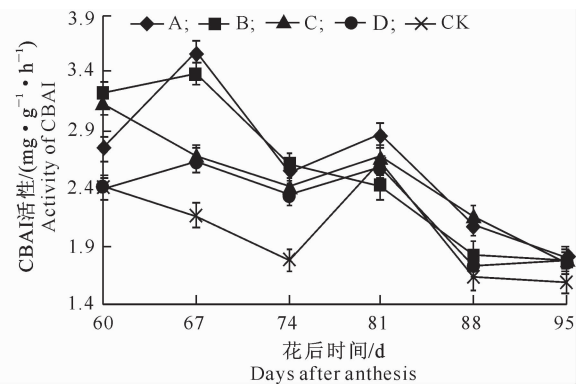


图 5 生物活性水对果实发育过程中细胞壁结合的酸性转化酶活性(CBAI)的影响

Fig. 5 Effect of Bacteria Mineral Water on CBAI activity during development of wine grapes

形成,以致总糖含量升高不显著。生物活性水稀释倍数过大会抑制葡萄籽单宁含量,但会增加果实的可滴定酸含量,这可能是由于稀释倍数较大时,生物活性水中不同的有效成分所产生的效应大小不一所致。不同稀释倍数生物活性水处理对葡萄的色素、单宁、总酚、可滴定酸含量均有明显影响,但将生物活性水原液稀释到 400 倍对葡萄进行喷施,可以显著提高葡萄中的可滴定酸、色素、皮单宁含量。

葡萄果实发育过程中可溶性糖和酸的积累变化可以体现葡萄果实的成熟状况,也能够反映生物活性水对葡萄各个发育期的影响,同时糖和酸也是葡萄酒酿造过程中的重要品质参考指标。酿酒葡萄果实在进入转色初期时,其可溶性糖含量低,可滴定酸含量高,随着果实的成熟,其可滴定酸含量降低,可溶性糖含量升高。不同生物活性水处理对葡萄糖酸积累的变化趋势无显著影响,但在各个时期对糖酸含量的影响表现出一定的差异。在转色初期,低稀释倍数的生物活性水可显著降低果实可滴定酸含量,增高可溶性总糖、还原糖含量,高稀释倍数的生物活性水可增高果实可滴定酸含量,降低可溶性总糖、还原糖含量。在转色后期,生物活性水稀释倍数过大或过小对可滴定酸含量影响不大,稀释 200 倍时可显著降低可滴定酸含量,而且低稀释倍数的生物活性水可提高还原糖含量。

葡萄果实中的糖分、有机酸、单宁、总酚、花色素以及风味物质是评价葡萄品质的重要指标,而糖是诸因素的基础,蔗糖代谢酶是糖积累的重要影响因素。蔗糖代谢酶主要包括蔗糖转化酶和蔗糖合成酶 2 种,其中转化酶在果实糖分积累中起主要作用^[31]。近年来,有关蔗糖代谢酶与果实糖积累之间存在密切联系的报道已有很多。本研究发现,葡萄果实中

不同的酶对糖积累的影响不同,在葡萄进入转色期后,酸性转化酶的活性始终高于中性转化酶以及细胞壁结合的酸性转化酶,且细胞壁结合的酸性转化酶活性高于中性转化酶,但这 3 种酶活性基本上均随着果实的成熟而降低,这可能与葡萄果实细胞中的酸性大小有关,在合适的 pH 值下,酶的活性才能达到最活跃状态,pH 过低或过高均会抑制酶的活性。葡萄果实是主要的库器官,蔗糖作为运输物质经韧皮部进入到果实后,在果实中主要是被蔗糖转化酶转化为还原糖贮存在果实细胞中,因此葡萄果实中的蔗糖含量很少,这与本试验中果实的可溶性总糖主要以还原糖的形式存在一致。本试验研究了不同稀释倍数的生物活性水对葡萄蔗糖转化酶的影响,结果表明,生物活性水对蔗糖转化酶活性有显著的影响,适当稀释倍数的生物活性水可以大大提高葡萄果实蔗糖转化酶的活性。

4 结 论

(1)不同稀释倍数的生物活性水对酿酒葡萄蛇龙珠果实可溶性总糖含量无显著影响,但均可提高葡萄皮单宁及色素含量,降低总酚含量。生物活性水原液稀释 400 倍时可以显著提高葡萄果实中的有机酸、色素和葡萄皮单宁含量,并降低糖酸比;稀释 200 倍时可以显著降低葡萄果实中的有机酸含量,提高色素、葡萄皮单宁和葡萄籽单宁含量及糖酸比。

(2)在葡萄果实发育进入转色期以后,叶面喷施稀释 50,100 倍生物活性水,可以促进果实可溶性总糖及还原糖的积累;喷施处理前期,稀释 200 及 400 倍的生物活性水有降低果实可溶性糖和还原糖含量的趋势,在处理后期均可以促进可溶性总糖及还原糖的积累。

(3)稀释 50 及 100 倍的生物活性水均可提高葡萄果实可溶性酸性转化酶、中性转化酶和细胞壁结合的酸性转化酶活性;稀释 400 倍时可提高可溶性酸性转化酶和细胞壁结合的酸性转化酶的活性。

(4)葡萄果实发育进入转色期以后,稀释 400 倍的生物活性水有提高果实有机酸含量的作用,稀释 200 倍则可使果实有机酸含量降低。

[参考文献]

- [1] 冀剑霜,张美玲,钱伟斌,等.葡萄原料对干红葡萄酒品质及白藜芦醇含量的影响[J].中国酿造,2010,20(11):149-152.
Ji J S, Zhang M L, Qian W B, et al. Effects of grapes on the quality and resveratrol content of dry red wine [J]. China Brewing, 2010, 20(11): 149-152. (in Chinese)
- [2] 王秀芹,陈小波,战吉成,等.生态因素对酿酒葡萄和葡萄酒品质的影响[J].食品科学,2006,27(12):791-797.
Wang X Q, Chen X B, Zhan J C, et al. Effects of ecological factors on quality of winegrape and wine [J]. Food Science, 2006, 27(12): 791-797. (in Chinese)
- [3] 张晓波,姜国强,牛锐敏,等.贺兰山东麓酿酒葡萄三种整形方式的比较[J].北方园艺,2010(2):76-77.
Zhang X B, Jiang G Q, Niu R M, et al. Comparison of three shaping way on wine grape at Helan Mountain [J]. Northern Horticulture, 2010(2): 76-77. (in Chinese)
- [4] 满丽婷,赵文东,郭修武,等.不同架式和负载量对‘晚红’葡萄果实品质的研究[J].北方果树,2011(5):11-12.
Man L T, Zhao W D, Guo X W, et al. Different frame and load on the quality of grape fruit ‘red globe’ [J]. Northern Fruits, 2011(5): 11-12. (in Chinese)
- [5] 赵新节,刘加强,管雪强,等.负荷对赤霞珠葡萄生长和品质的影响[J].河北林业科技,2004(5):45-46.
Zhao X J, Liu J Q, Guan X Q, et al. The effect of load on the growth and quality of Cabernet Sauvignon [J]. Hebei Forestry Science and Technology, 2004(5): 45-46. (in Chinese)
- [6] 宋润刚,李晓红,路文鹏,等.山葡萄负载量对产量和质量的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2003(4):28-31.
Song R G, Li X H, Lu W P, et al. Effect of load on the yield and fruit quality of *Vamurensis* Rupr [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2003(4): 28-31. (in Chinese)
- [7] 娄汉平,田颖辉.葡萄负载量对葡萄生长的影响[J].山西果树,2005(4):7-9.
Lou H P, Tian Y H. Effects of grapes load on grape growing [J]. Shanxi Fruit, 2005(4): 7-9. (in Chinese)
- [8] 史祥宾,孙永江,高荣广,等.施肥量与负载量对‘巨峰’葡萄产量、品质及贮藏营养的影响[J].河北农业大学学报,2012,35(6):12-17.
Shi X B, Sun Y J, Gao R G, et al. Effects of rate of fertilizer application and load on yield, quality and nutrient storage of ‘Kyoho’ grape [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2012, 35(6): 12-17. (in Chinese)
- [9] 孙 权,王静芳,王素芳,等.不同施肥深度对酿酒葡萄叶片养分和产量及品质的影响[J].果树学报,2007,24(4):455-459.
Sun Q, Wang J F, Wang S F, et al. Influence of fertilization depth on NPK content in leaves, yield and fruit quality of grapevine [J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(4): 455-459. (in Chinese)
- [10] 吴代东,谭柳燕,邹 瑜,等.不同施肥处理对毛葡萄野酿 2 号产量及品质的影响[J].南方农业学报,2013,44(1):96-100.
Wu D D, Tan L Y, Zou Y, et al. Influences of different fertilizer treatments on the yield and quality of wild grape variety Yenang 2 (*Vitis quinquangularis* Rehd) [J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(1): 96-100. (in Chinese)
- [11] 孙占育,郭春会,刘小菊.袋控缓释肥对克瑞森葡萄产量和品质的影响[J].西北林学院学报,2011,26(6):85-87.
Sun Z Y, Guo C H, Liu X J. Effects of bag-controlled slow release fertilizer on the yield and quality of crimson seedless

- [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 85-87. (in Chinese)
- [12] 吴 俊, 钟家煌, 徐 凯, 等. 外源 GA_3 对藤稔葡萄果实生长发育及内源激素水平的影响 [J]. 果树学报, 2001, 18(4): 209-212.
- Wu J, Zhong J H, Xu K, et al. Effects of exogenous GA_3 on fruit development and endogenous hormones in fujiminori grape [J]. Journal of Fruit Science, 2001, 18(4): 209-212. (in Chinese)
- [13] 霍珊珊, 惠竹梅, 马立娜, 等. 植物生长调节剂对赤霞珠葡萄果实品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(1): 183-189.
- Huo S S, Xi Z M, Ma L N, et al. Effect of plant growth regulator on the quality of Cabernet sauvignon grape [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2012, 40(1): 183-189. (in Chinese)
- [14] 何文远. 生物活性水技术机理及应用研究 [D]. 上海: 同济大学, 2008.
- He W Y. Study on mechanism of bioactive water technology and its application [D]. Shanghai: Tongji University, 2008. (in Chinese)
- [15] Frankemberger W T, Arshad M. Phytohormones in soils: Microbial production and function [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1995: 503.
- [16] 亢福仁, 朱铭强, 冯光慧, 等. 生物活性水对番茄种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 北方园艺, 2010(14): 49-50.
- Kang F R, Zhu M Q, Feng G H, et al. Effect of bioactive water on seed germination and seedling growth of tomato [J]. Northern Horticulture, 2010(14): 49-50. (in Chinese)
- [17] 王富刚, 朱铭强, 蒋 花, 等. 生物活性水对油菜种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 中国种业, 2010(9): 74-76.
- Wang F G, Zhu M Q, Jiang H, et al. Effect of bioactive water on seed germination and seedling growth of rape [J]. China Seed Industry, 2010(9): 74-76. (in Chinese)
- [18] 陈钧辉, 李 俊, 张太平, 等. 生物化学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 16-17.
- Chen J H, Li J, Zhang T P, et al. Biochemistry experiment [M]. Beijing: Science Press, 2008: 16-17. (in Chinese)
- [19] 王宪泽. 生物化学实验技术原理和方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 77-80.
- Wang X Z. Technical principles and methods of biochemical experiments [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 77-80. (in Chinese)
- [20] 马 莉, 唐健元, 李祖伦, 等. 板蓝根提取物中总有机酸和水杨酸含量测定方法研究 [J]. 中国中药杂志, 2006, 31(10): 804-806.
- Ma L, Tang J Y, Li Z L, et al. Determination of total organic acids and salicylic acid in extract of *Radix Isatidis* [J]. China Journal of Chinese Material Medica, 2006, 31(10): 804-806. (in Chinese)
- [21] 杨夫臣, 吴 江, 程建徽, 等. 葡萄果皮花色素提取及其理化性质 [J]. 果树学报, 2007, 24(3): 287-292.
- Yang F C, Wu J, Chen J H, et al. Studies on extraction and physical-chemical properties of anthocyanin from Red Globe grape peel [J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(3): 287-292. (in Chinese)
- [22] 王 华. 葡萄与葡萄酒实验技术操作规范 [M]. 西安: 西安地图出版社, 1999: 149-150, 152-153.
- Wang H. The experimental technical operation of grape and wine [M]. Xi'an: Xi'an Map Press, 1999: 149-150, 152-153. (in Chinese)
- [23] Lowell C A, Tomlinson P T, Koch K E. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissue and adjacent sink structures in developing citrus fruit [J]. Plant Physiol, 1989, 90: 1394-1402.
- [24] Hubbard N L, Huber S C, Pharr D M. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits [J]. Plant Physiol, 1989, 91: 1527-1534.
- [25] Miron D, Schaffer A A. Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulating in *Lycopersicon hirsutum* Humb. and Bonp [J]. Plant Physiol, 1991, 95: 623-627.
- [26] Chen Y, Clapp C E, Magen H. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2004, 50(7): 1089-1095.
- [27] Nardi S, Pizzeghello D, Reniero F, et al. Chemical and biochemical properties of humic substances isolated from soil and plant growth [J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(2): 639-645.
- [28] 马 丽. 腐胺和 6-BA 对藤稔葡萄果实着色及相关品质的影响 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2006.
- Ma L. Effect of Put and 6-BA on fruit color and concerned qualities in Fujiminori grape [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- [29] 田 义, 王 强, 张利义, 等. 外源腐胺促进苹果果皮花青苷积累的效应 [J]. 植物学报, 2009, 44(3): 310-316.
- Tian Y, Wang Q, Zhang L Y, et al. Promotion effect of exogenous putrescine on anthocyanin accumulation in 'Red Fuji' apple fruits [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2009, 44(3): 310-316. (in Chinese)
- [30] 古丽伯斯坦. 紫葡萄皮色素的理化性质研究 [J]. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2001, 20(3): 53-56.
- Gulibustan. Studies on the extraction of purple pigment from grapeskin and its stability [J]. Journal of Xinjiang Normal University: Natural Science Edition, 2001, 20(3): 53-56. (in Chinese)
- [31] 吕英民, 张大鹏. 果实发育过程中糖的积累 [J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(3): 258-265.
- Lv Y M, Zhang D P. Accumulation of sugars in developing fruits [J]. Plant Physiology Journal, 2000, 36(3): 258-265. (in Chinese)

网络出版时间:2014-10-16 14:28 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.097
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.097.html

小陇山林区锐齿栎原始林群落的空间结构特征

郭小龙,刘文桢,张宋智,吕 寻,石小龙,李安民

(甘肃省小陇山林业实验局 林业科学研究所,甘肃 天水 741022)

【摘 要】 【目的】研究甘肃小陇山林区锐齿栎原始林群落的空间结构特征,为小陇山林区锐齿栎次生林的经营提供参考。【方法】在小陇山林区选择锐齿栎原始林建立 100 m×100 m 的固定样地,运用每木定位调查数据和林分空间结构分析软件,分析锐齿栎原始林群落的林木分布格局、树种隔离程度和大小分化程度。【结果】锐齿栎原始林群落的平均角尺度为 0.531,建群种锐齿栎种群的平均角尺度为 0.526,主要伴生树种鹅耳枥、地锦槭、光叶泡花树、鄂榿、小叶鹅耳枥、川鄂鹅耳枥、水榆花楸的平均角尺度依次为 0.586,0.535,0.604,0.556,0.604,0.634 和 0.559;该群落平均混交度为 0.71,修正混交度为 0.475;群落中主要树种的平均大小比数排序为辽东栎<锐齿栎<桦榿<鄂榿<鹅耳枥<地锦槭<水榆花楸<小叶鹅耳枥<川鄂鹅耳枥<光叶泡花树;树种优势度排序为锐齿栎>辽东栎>鹅耳枥>桦榿>地锦槭>鄂榿>小叶鹅耳枥>川鄂鹅耳枥>水榆花楸>光叶泡花树。【结论】锐齿栎原始林群落林木分布格局为轻微的团状分布,林内各种树高度混交,锐齿栎在林分中占绝对优势,该群落的空间结构特征可作为小陇山林区锐齿栎次生林目标林分的参考依据。

【关键词】 小陇山林区;锐齿栎;原始林;空间结构

【中图分类号】 S758.5⁺3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)11-0106-07

Spatial structure characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* primeval forest in Xiaolongshan forest area

GUO Xiao-long, LIU Wen-zhen, ZHANG Song-zhi,

LÜ Xun, SHI Xiao-long, LI An-min

(Xiaolongshan Research Institute of Forestry of Gansu Province, Tianshui, Gansu 741022, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the spatial structure characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* primeval forest in Xiaolongshan forest area to provide reference for management of *Q. aliena* var. *acuteserrata* secondary forest. 【Method】 A fixed plot with area of 100 m×100 m was established in *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest in Xiaolongshan forest area, and per wood investigation data and software for stand spatial characteristics analyses were used to analyze the spatial distribution pattern, tree species isolation degree and size differentiation of *Q. aliena* var. *acuteserrata* forest community. 【Result】 Average uniform angle index of *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest community was 0.531, and that of constructive species was 0.526. The average uniform angle indexes of main associated tree species *Carpinus turczaninowii* Hance, *Acer mono* Maxim, *Meliosma cuneifolia* Franch. var. *glabriuscula* Cufed, *Tilia oliveri* Szyszyl, *Carpinus turczaninowii* Hance var. *stipulata* Winkl, *Carpinus henryana*. (Winkl) Win, and *Sorbus alniifolia* were 0.586, 0.535, 0.604, 0.556, 0.604, 0.634 and 0.559, respectively. The average community mingling was 0.71, and that of the modified stand was 0.475. The community size of main

【收稿日期】 2014-01-17

【基金项目】 农业科技成果转化资金项目(2012GB2G100462);天水市科技支撑项目(20121003)

【作者简介】 郭小龙(1977—),男,甘肃天水人,工程师,主要从事森林经营与森林培育研究。

【通信作者】 刘文桢(1969—),男,甘肃天水人,高级工程师,主要从事森林经营与森林培育研究。

composition species of was in an increasing order of *Quercus liaotungensis* Koidz < *Q. aliena* var. *acuteserrata* Maxim < *Tilia chinensis* Maxim < *T. oliveri* Szyszyl < *C. turczaninowii* Hance < *A. mono* Maxim < *S. alniifolia* < *C. turczaninowii* Hance var. *stipulata* Winkl < *C. henryana*. (Winkl) Win < *M. cuneifolia* Franch. var. *glabriuscula* cufed. The dominance of tree species was in a descending order of *Q. aliena* var. *acuteserrata* Maxim > *Q. liaotungensis* Koidz > *C. turczaninowii* Hance > *T. chinensis* Maxim > *A. mono* Maxim > *T. oliveri* Szyszyl > *C. turczaninowii* Hance var. *stipulata* Winkl > *C. henryana*. (Winkl) Win > *S. alniifolia* > *M. cuneifolia* Franch. var. *glabriuscula* cuffed. 【Conclusion】 *Q. aliena* var. *acuteserrata* virgin forest trees had a slight clumped distribution with highly mixed tree species and *Q. aliena* var. *acuteserrata* had the absolute superiority. The spatial structure characteristics of *Q. aliena* virgin forest in Xiaolongshan forest area could be used as a reference for the management of *Q. aliena* secondary forest.

Key words: Xiaolongshan forest area; *Quercus aliena* var. *acuteserrata*; virgin forest; spatial structure

林分的空间结构特征体现了树木在林地上的分布格局及其属性在空间上的排列方式,即林分内林木的大小、分布和树种混交等空间关系,是与林木空间位置有关的林分结构^[1],可从林木个体在水平地面上分布的空间格局、大小分化度和树种隔离程度 3 个方面加以描述^[2-4]。森林空间结构是森林动态变化过程中测度时点林分状态的高度概况,是对森林发展过程中各种因素,如更新方式、竞争、自然稀疏及自然干扰和人为干扰作用结果的综合反映^[5],已经成为森林经营和分析中的一个重要方面^[1-2],其中涉及单木之间空间关系的林分空间结构及其空间关系的描述和解释已成为森林结构研究的焦点^[6-7],越来越受到人们的重视。近年来,惠刚盈等^[2,4-5]和汤孟平^[7]提出了基于参照树与其最近 4 株相邻木关系的林分空间结构量化分析方法,许多学者将其应用于不同林分类型的空间结构特征分析、多样性分析、采伐木选择、结构重建等方面,展示出了良好的应用前景。

小陇山林区是我国西北地区重要的天然林区,在涵养水源、保持水土、维护地区生态平衡、提高环境质量、保护生物多样性以及林业生产等方面发挥着不可替代的作用。以往对小陇山林区的研究,主要集中在锐齿栎次生林群落的生物量、群落数量特征、群落结构、种间关系、生物多样性、空间结构特征等方面^[8-11],而对其原始林空间结构特征的研究尚未见报道。本研究运用基于参照树与其最近 4 株相邻木关系的林分空间结构的量化分析方法,对小陇山林区锐齿栎原始林的空间结构特征进行研究,旨在为小陇山林区锐齿栎次生林的经营提供借鉴。

1 研究区及样地概况

1.1 研究区概况

小陇山林区处于黄河、长江中上游地区的渭河、

嘉陵江流域交汇处(104°22'~106°43'E、30°30'~34°49'N),区内年均气温 7~12℃,极端最低气温-32.2℃,极端最高气温 38.3℃,年积温 3 563.9℃;年日照时数 2 098.7 h,年太阳辐射量 490.8~568.6 kJ/cm²。年均降水量 460~800 mm,50%~60%的降水集中在 7—9 月份。年均绝对蒸发量 1 287.6~1 339.0 mm,湿润度 0.36~0.45,相对湿度 69%;无霜期 185 d;海拔 750~3 200 m。研究区为我国典型的南北气候和植被过渡带,区内植物分布在中国植物区系分区系统中属中国-日本植物亚区、华北植物地区、黄土高原植物亚地区,区系组成具有明显的温带属性,区系成分以华北成分为主,兼有华中、喜马拉雅与蒙新成分,植物种类繁多,是北亚热带向温带过渡的植物基因库,有高等植物 225 科、877 属、2 753 种,其中木本植物有 780 多种,内含乔木 281 种。区内海拔 2 200 m 以下主要是以锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)和辽东栎(*Quercus liaotungensis*)为主的天然林;在栎林带内分布有华山松(*Pinus armandi*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、漆树(*Rhus verniciiflora*)、冬瓜杨(*Populus purdomii*)、千金榆(*Carpinus cordata*)、甘肃山楂(*Crataegus kansuensis*)、刺楸(*Kalopanax septemlobus*)等乔木树种,灌木有美丽胡枝子(*Lespedeza thunbergii*)、光叶绣线菊(*Spiraea japonica* L. f. var. *fortunei*)、中华绣线菊(*Spiraea chinensis*)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)、华北绣线菊(*Spiraea fritschiana*)、连翘(*Forsytia suspense*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、山豆花(*Lespedeza tomentosa*)等。

1.2 样地概况

研究样地布设于百花林场坪营林区 91 林班的 14 小班内,样地海拔 1 857 m,东北坡,平均坡度

32°, 土壤为山地棕壤; 样地内林木平均胸径 24.3 cm, 平均树高 16.6 m, 蓄积量 277.59 m³/hm²。样地内存在大量的枯立(倒)木, 其中枯立木 168 株, 枯倒木 37 株, 最大树木胸径 61.3 cm, 年龄为 120 年以上(用生长锥钻木芯数年轮)。样地内灌木树种主要有箭竹(*Sinarundinaria nitida*)、鞘柄菝葜(*Smilax stans*)、青荚叶(*Helwingia japonica* (Thunb.) Dietr.)、长柄八仙花(*Hydrangea longipes* Franch.)、桤叶荚蒾(*Viburnum betulifolium* Batal.)、绣线梅(*Neillia thrysiiflora* D. Don)、宝兴茶藨子(*Ribes moupinense* Franch.)等; 草本有秦岭金腰子(*Chrysosplenium biondianum* Engl.)、裂叶荨麻(*Urtica lotabifolia*)、酢浆草(*Oxalis corniculata* Linn.)、羊胡子(*Carex breviculmis* var. *fibrillosa*)等。

2 研究方法

2.1 调查方法

在研究区采用 NTS320 全站仪测设面积为 1 hm²(100 m×100 m)的样地, 在确定样地的基轴坐标后, 用全站仪将整个样地划分为 25 块小样地(20 m×20 m), 样地四角用水泥桩标记。调查记录树高大于 1.3 m 的乔木树种的胸径、株数、年龄、树高等指标, 并用全站仪(GTS-602AF)进行定位; 选择样地内胸径最大的 1 株锐齿栎, 用生长锥钻木芯, 查数年轮确定林分年龄。采用超声波测高仪测量树高; 采用 GPS 测定样地地理坐标、海拔, 用罗盘仪测定样地坡向、坡度。

2.2 群落空间结构参数分析

森林的结构特征体现在时间和空间 2 个方面, 时间特征用林分的直径分布来表现, 空间结构特征以林分的水平结构和垂直结构特征来表现。以样地每木定位调查中胸径大于 5 cm 的林木数据为基础, 分析林分的角尺度^[12-16]、混交度^[14, 16-19]和大小比数^[13-15, 20]。

群落平均混交度($\bar{M}'$)采用修正的林分平均混交度计算公式计算:

$$\bar{M}' = \frac{1}{5N} \sum (M_i n'_i). \quad (1)$$

式中: N 表示所调查的林木株数; M_i 表示第 i 株树的混交度; n'_i 表示第 i 株树所处的结构单元中树种的个数。

树木大小是林分结构的基本特征, 具有重要的生态学意义^[21]。与角尺度和混交度的特征相似, 大

小比数值以频率分布形式刻画了参照树与其最近相邻木之间大小的分化度, 其重要意义在于明确了不同大小树木在与其最近 4 株相邻木组成的结构单元中的地位, 可以用树高、胸径、断面积、冠幅、根系、叶面积等作为比较指标, 其共有 5 种可能取值, 即 0, 0.25, 0.50, 0.75 和 1.00, 分别对应优势、亚优势、中庸、劣势和绝对劣势 5 种相对关系。当将某个树种作为研究对象时, 大小比数反映了该树种在林分中的平均状态, 其与相对显著度结合则反映了该树种的优势度。优势度用下式计算:

$$D_{sp} = \sqrt{D_g \cdot (1 - \bar{U}_{sp})}. \quad (2)$$

式中: D_{sp} 表示树种优势度; D_g 表示相对显著度; $\bar{U}_{sp}$ 表示树种平均大小比数。

树种优势度的取值为 0~1, 接近 1 表示非常具有优势, 接近 0 表示几乎没有优势。

本研究运用空间结构分析软件 Winkelmass 计算林分空间结构指标, 为避免边缘效应对林分结构的影响, 设置了 5 m 缓冲区, 核心区面积为 90 m×90 m。

3 结果与分析

3.1 锐齿栎原始林的林分特征

林分中胸径大于 5 cm 林木的基本概况如表 1 所示。样地林分类型为天然次生林, 林分密度 1 267 株/hm², 总断面积 34.46 m²/hm²; 林分平均胸径 25.1 cm, 平均树高 17.1 m, 蓄积量 276.45 m³/hm²。林分中锐齿栎无论是断面积还是频度都相对较大, 是该林分中的优势种; 辽东栎、桦榿等树种断面积较大, 但其相对频度却较低, 说明其在林分中主要以大径木的形式存在, 而数量却较少; 地锦槭、鹅耳枥、鄂榿、小叶鹅耳枥、川鄂鹅耳枥、水榆花楸等的断面积和频度都低于锐齿栎, 但与其他树种相比, 数量、断面积均在林分中具有相对优势。因此, 将上述树种作为主要树种进行分析。

3.2 锐齿栎原始林中林木个体的水平空间分布格局

如图 1 所示, 样地中林木在角尺度为 0.5 时的分布频率最高, 为 56%, 角尺度为 0.75 和 1.00 时的分布频率之和大于角尺度为 0 和 0.25 时的分布频率之和, 样地林木个体角尺度的均值为 0.531, 在 [0.475, 0.517]^[14]外, 说明林分内林木整体分布格局属轻度团状分布。从林分中不同树种的空间结构单元来看, 以锐齿栎、鹅耳枥、地锦槭、光叶泡花树、鄂榿、小叶鹅耳枥、川鄂鹅耳枥、水榆花楸为参照树

的单元角尺度频率分布与整个林分的分布规律相似,且上述树种总株数在整个样地中所占比例为 62.7%,因此以这几个树种为参照树的单元林木分

布格局在很大程度上决定了整个林分林木的分布格局。

表 1 小陇山锐齿栎原始林中主要树种的特征值

Table 1 Characteristics of main tree species in *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest in Xiaolongshan

树种 Species	数量/(株·hm ⁻²) Amount	频度/% Frequency	重要值 Importance value	断面积/(m ² ·hm ⁻²) Basal area
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> Maxim	225	17.8	0.67	16.09
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> Hance	126	9.9	0.21	2.30
地锦槭 <i>Acer mono</i> Maxim	85	6.7	0.18	1.56
光叶泡花树 <i>Meliosma cuneifolia</i> Franch. var. <i>glabriuscula cufed</i>	103	8.1	0.17	0.43
鄂椴 <i>Tilia oliveri</i> Szyszyl	64	5.1	0.14	1.39
小叶鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> Hahce var <i>stipulata</i> Winkl	83	6.6	0.13	1.16
川鄂鹅耳枥 <i>Carpinus henryana</i> . (Winkl) Win	54	4.3	0.10	0.83
水榆花楸 <i>Sorbus alni folia</i>	54	4.3	0.09	0.59
辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i> Koidz	19	1.5	0.08	1.41
桦椴 <i>Tilia chinensis</i> Maxim	31	2.4	0.08	1.30

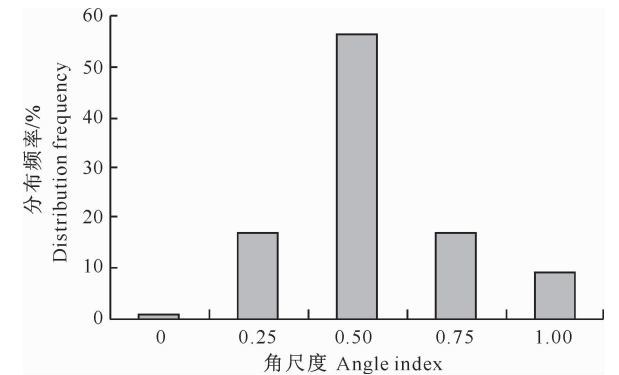


图 1 小陇山锐齿栎原始林角尺度的分布频率
Fig. 1 Frequency distribution of uniform angle index of *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest on Xiaolongshan

林分中主要树种锐齿栎、鹅耳枥、地锦槭、光叶泡花树、鄂椴、小叶鹅耳枥、川鄂鹅耳枥、水榆花楸的平均角尺度依次为 0.526, 0.586, 0.535, 0.604, 0.556, 0.604, 0.634, 0.559。可见主要树种的角尺度都在[0.475, 0.517]外,平均角尺度均略高于 0.517,属于轻度团状分布。一般而言,当次生林处于顶级群落时,其水平空间分布格局大多数是随机分布的,但是由于立地微环境的差异或者在枯倒木形成的初期,林木枯倒时碾压幼树、形成林窗、林分更新等都会暂时打破森林原有的稳定状态,进而促使林木的水平空间分布格局向轻度团状分布方向转变,但随着自然演替的进行,林分的水平空间分布格局会逐渐趋近于随机分布^[10]。由此可知,样地所处林分目前正处于森林自然演替的中后期,在无人干扰的情况下,随着森林自然演替的发展,样地所处林分将会逐渐发展为当地的顶级群落,也就是说林木的水平空间分布格局将会逐渐趋近于随机分布。

3.3 锐齿栎原始林中树种的空间隔离程度

使用 Winkelmass 软件计算得出样地的平均混交度为 0.71,修正混交度为 0.475。小陇山锐齿栎原始林混交度的分布如图 2 所示。

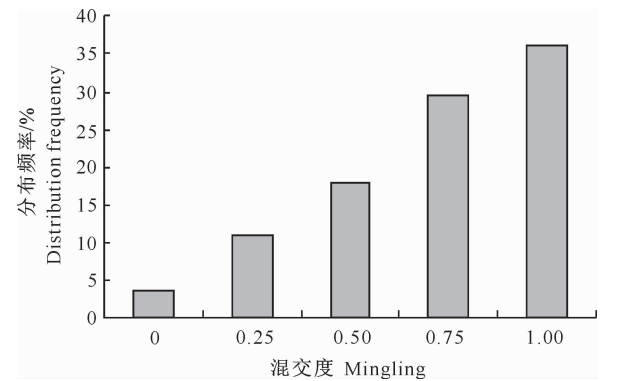


图 2 小陇山锐齿栎原始林混交度的分布频率
Fig. 2 Frequency distribution of stand mingling of *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest on Xiaolongshan

由图 2 可知,林分中处于极强度混交(混交度为 1.00,即参照树与周围 4 株最近相邻木不属于同一种)的林木比例为 36.8%,处于强度混交(混交度为 0.75)的林木比例为 31.1%,处于中度混交(混交度为 0.5)的林木比例为 17.7%,处于弱度混交(混交度为 0.25)的林木比例为 10.8%,林分中只有 3.6%的林木个体处于零度混交(混交度为 0)。也就是说,在林分中只有极个别林木与周围最近 4 株相邻木均为同一树种,同种个体聚集较少,而大多数林木与其他树种相伴而生。

从表 2 来看,以锐齿栎为参照树的结构单元以强度和极强度混交为主,所占比例分别为 39%和

30%；鹅耳枥、光叶泡花树、鄂椴、小叶鹅耳枥、水榆花楸出现了零度混交,但所占比例都很小。林分中优势树种和亚优势树种的混交度均主要分布在强度混交和极强度混交中,这说明样地所处林分树种隔离程度很高。有研究表明,群落越向稳定的方向发展,强度和极强度混交的频率越高^[22]。出现这一结

果是由于在林分内相同树种个体对资源环境利用的一致性,导致种内竞争激烈,发生自疏现象,使最邻近的同种个体数量减少,而其他树种由于对环境资源的利用要求不同,逐步占据并取代由于同种竞争而被淘汰的林木个体的位置,最终形成多树种混交的稳定结构。

表 2 小陇山锐齿栎原始林主要树种的平均混交度及其不同混交度的分布频率
Table 2 Average mingling and frequency distribution of main tree species of *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest on Xiaolongshan

树种 Species	不同混交度的分布频率/% Distribution frequency of different mingling					平均混交度 Average mingling
	0	0.25	0.50	0.75	1.00	
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> Maxim	0	7	24	39	30	0.73
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> Hance	5	16	21	29	29	0.65
地锦槭 <i>Acer mono</i> Maxim	0	11	15	32	42	0.77
光叶泡花树 <i>Meliosma cuneifolia</i> Franch. var. <i>glabriuscula cufed</i>	15	17	25	24	19	0.54
鄂椴 <i>Tilia oliveri</i> Szyszyl	8	3	11	30	48	0.77
小叶鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> Hahce var <i>stipulata</i> Winkl	5	21	17	34	23	0.62
川鄂鹅耳枥 <i>Carpinus henryana</i> . (Winkl) Win	0	19	11	35	35	0.72
水榆花楸 <i>Sorbus alniifolia</i>	4	9	13	37	37	0.74
辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i> Koidz	0	0	0	11	89	0.97
桦椴 <i>Tilia chinensis</i> Maxim	0	29	16	42	13	0.60

3.4 锐齿栎原始林中林木的大小分化程度

由图 3 可知,样地内主要树种以胸径作为比较指标的大小比数排列顺序为:辽东栎<锐齿栎<桦椴<鄂椴<鹅耳枥<地锦槭<水榆花楸<小叶鹅耳枥<川鄂鹅耳枥<光叶泡花树。树种大小比数排序说明,在以该树种为参照树的结构单元中,辽东栎和锐齿栎处于优势状态,桦椴处于亚优势状态,而鄂椴、鹅耳枥、地锦槭、水榆花楸、小叶鹅耳枥、川鄂鹅耳枥则处于中庸状态;光叶泡花树受到压迫,处于劣势。

由表 3 可以看出,林分中辽东栎的大小比数为 0 和 0.25 的比例达到了 100%,且取值主要集中在大小比数 0 上,这是由于辽东栎的数量很少并且胸径较大,因而在整个结构单元中处于明显的优势地位。优势树种锐齿栎大小比数频率分布主要集中在大小比数 0 上,所占比例达到 53.3%,大小比数为 0.25 的个体所占比例为 28.4%,说明以锐齿栎为参照树的结构单元,周围其他个体大部分较锐齿栎小或仅有 1 株比锐齿栎大,林分中仅有少数锐齿栎个体在结构单元中处于中庸、劣势或绝对劣势。而锐齿栎的数量在整个林分中所占比例最大,说明该林分中优势树种的生长受相邻木的干扰较小,锐齿栎的生长在整个林分中占绝对优势。光叶泡花树在整个林分中也占有相当的数量,但其大小比数分布频

率多数处于劣势、绝对劣势或中庸状态的地位,这可能是由于其进入群落的时间较晚,该种群尚处于生长发育阶段,生长空间不足,因而造成其在林分中地位低下。

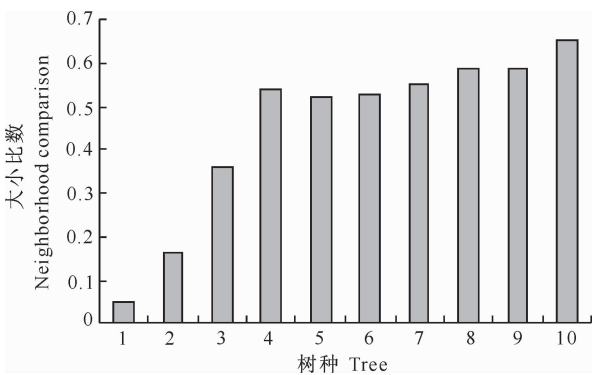


图 3 小陇山锐齿栎原始林主要树种平均大小比数

1. 辽东栎;2. 锐齿栎;3. 桦椴;4. 鄂椴;5. 鹅耳枥;6. 地锦槭;
7. 水榆花楸;8. 小叶鹅耳枥;9. 川鄂鹅耳枥;10. 光叶泡花树。图 4 同

Fig. 3 Average size of main tree species of *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest on Xiaolongshan
1. *Quercus liaotungensis* Koidz;2. *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim;3. *Tilia chinensis* Maxim;
4. *Tilia oliveri* Szyszyl;5. *Carpinus turczaninowii* Hance;
6. *Acer mono* Maxim;7. *Sorbus alniifolia*;8. *Carpinus turczaninowii* Hahce var *stipulata* Winkl;9. *Carpinus henryana*. (Winkl) Win;10. *Meliosma cuneifolia* Franch. var. *glabriuscula cufed*. The same for Fig. 4.

表 3 小陇山锐齿栎原始林主要树种大小比数的分布频率

树种 Species	不同大小比数的分布频率/% Distribution frequency of neighborhood comparison				
	0	0.25	0.50	0.75	1.00
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> Maxim	53.3	28.4	13.8	2.7	1.8
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> Hance	13.5	19.0	20.7	27.8	19.0
地锦槭 <i>Acer mono</i> Maxim	14.1	14.1	29.4	20.0	22.4
光叶泡花树 <i>Meliosma cuneifolia</i> Franch. var. <i>glabriuscula</i> cufed	4.9	11.6	17.5	26.2	39.8
鄂椴 <i>Tilia oliveri</i> Szyszyl	18.8	14.0	21.9	20.3	25.0
小叶鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i> Hahce var. <i>stipulata</i> Winkl	7.2	16.9	20.5	26.5	28.9
川鄂鹅耳枥 <i>Carpinus henryana</i> . (Winkl) Win	5.6	14.8	27.8	18.5	33.3
水榆花楸 <i>Sorbus alni folia</i>	5.6	22.2	22.2	29.6	20.4
辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i> Koidz	73.7	26.3	0	0	0
桦椴 <i>Tilia chinensis</i> Maxim	35.4	19.4	12.9	12.9	19.4

大小比数仅反映了树种在结构单元中的优劣状态,并不能反映树种在整个林分的优劣状态。因此,合理反映树种优势度的方法应该是将树种大小比数与相对显著度相结合。按照此方法计算以上几个树种的优势度,结果(图 4)显示,树种大小比数与相对显著度相结合的优势度排列顺序为:锐齿栎>辽东栎>鹅耳枥>桦椴>地锦槭>鄂椴>小叶鹅耳枥>川鄂鹅耳枥>水榆花楸>光叶泡花树。结果表明,在林分中,锐齿栎处于绝对优势状态,辽东栎处于亚优势状态,光叶泡花树受到压迫,处于劣势。

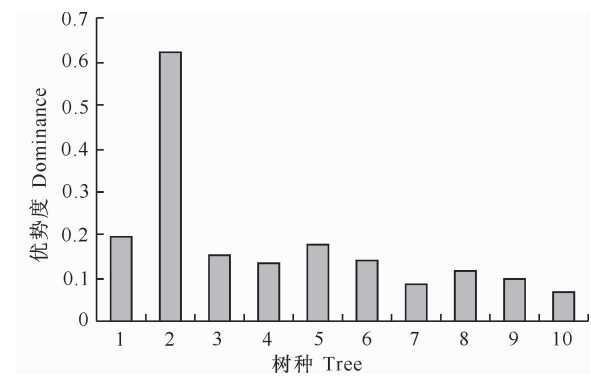


图 4 小陇山锐齿栎原始林主要树种的优势度
Fig.4 Dominance of main tree species of *Q. aliena* var. *acuteserrata* primitive forest on Xiaolongshan

4 讨论与结论

森林空间结构是森林生长的驱动因子,对森林未来的发展具有决定性作用^[23]。原始林是森林生物与环境相互依存和相互作用、长期协同进化的产物,分析原始林的空间结构特征,有助于弄清原始林群落中的种间种内关系、各种群间的空间配置关系以及群落演替规律和生态功能的发挥机制,能够为研究区次生林和人工林经营、天然林群落模仿及顺

向演替的人为促进提供理论依据,对实现森林资源的可持续经营具有重要的现实意义。以锐齿栎为主的栎类天然林是小陇山林区主要的林分类型,锐齿栎次生林经营对于小陇山林区实现森林可持续经营至关重要。对小陇山林区锐齿栎原始林样地的调查分析表明,锐齿栎原始林林木分布格局呈轻微团状分布,林分平均角尺度为 0.531;样地内各树种呈高度混交,林分平均混交度为 0.71,修正混交度为 0.475,强度和极强度混交结构单元比例占全林分的 67.9%,主要树种的混交度分布频率也偏向于强度和极强度混交。各树种的大小比数平均值差异较大,其中优势树种锐齿栎的数量和大小比数分布频率均处于优势地位;光叶泡花树在整个林分中也占有相当的数量,但其个体在所处的结构单元中,多数较其最近相邻木小,处于劣势、绝对劣势或中庸的地位。

赵中华等^[11]研究了小陇山林区响潭沟和白营西沟锐齿栎次生林的空间结构特征,结果表明,响潭沟锐齿栎次生林在皆伐迹地经过长时间的恢复后,虽然从林分总体结构特征来看,是一个进展演替的过程,但林分中林木的分布格局仍然呈轻微团状分布,直径分布不尽合理,树种数较少,混交程度也不高,建群种锐齿栎处于亚优势的状态,与本研究中建群种在林分中的地位明显不同;白营西沟林分为人为干扰后形成的林分,由于经历了 2 次大强度的择伐利用,林木的分布格局为随机分布,但树种混交程度较低,建群种锐齿栎在林分中处于亚优势状态,而先锋树种白桦则处于中庸状态,这也与长期未经干扰的锐齿栎有明显不同。由此可以看出,在对小陇山锐齿栎次生林进行经营时,可根据生态学原理,从优化空间结构的角度出发,调整林分的水平分布

格局、树种组成和林内树种的竞争关系,使林分结构更接近于自然状态的林分结构,尽快恢复到合理状态,从而提升林分的整体功能。

[参考文献]

[1] 汤孟平,唐守正,雷相东,等.两种混交度的比较分析[J].林业资源管理,2004(4):25-27.
Tang M P, Tang S Z, Lei X D, et al. Comparison analysis on two minglings [J]. Forest Resources Management, 2004(4): 25-27. (in Chinese)

[2] 惠刚盈.角尺度:一个描述林木个体分布格局的结构参数[J].林业科学,1999,35(1):37-42.
Xi G Y. The neighbourhood pattern: A new structure parameter for describing distribution of forest tree position [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1999, 35(1): 37-42. (in Chinese)

[3] 雷相东,唐守正.林分结构多样性指标研究综述[J].林业科学,2002,38(3):140-146.
Lei X D, Tang S Z. Indicators on structural diversity within-stand: A review [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(3): 140-146. (in Chinese)

[4] 惠刚盈, Gadow K V. 德国现代森林经营技术[M].北京:科学技术出版,2001:66-134.
Xi G Y, Gadow K V. Modern forest management of Germany [M]. Beijing: Science and Technology Press, 2001: 66-134. (in Chinese)

[5] 惠刚盈.基于相邻木关系的林分空间结构参数应用研究[J].北京林业大学学报,2013,35(4):1-9.
Xi G Y. Studies on the application of stand spatial structure parameters based on the relationship of neighborhood trees [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2013, 35(4): 1-9. (in Chinese)

[6] Moeur M. Characterizing spatial patterns of trees using stem mapped data [J]. For Sci, 1993, 39(4): 756-775.

[7] 汤孟平.森林空间结构分析与优化经营模型研究[D].北京:北京林业大学,2003.
Tang M P. Analysis and optimal management model of forest spatial structure [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003. (in Chinese)

[8] 索安宁,巨天珍,张俊华,等.甘肃小陇山锐齿栎群落生物多样性特征分析[J].西北植物学报,2004,24(10):1877-1881.
Suo A N, Ju T Z, Zhang J H, et al. Analysis of biodiversity characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolong in Gansu [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2004, 24(10): 1877-1881. (in Chinese)

[9] 索安宁,巨天珍,张俊华,等.甘肃小陇山锐齿栎群落生物量动态研究[J].生态学杂志,2005,24(4):377-381.
Suo A N, Ju T Z, Zhang J H, et al. Biomass structure of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolongshan in Gansu [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(4): 377-381. (in Chinese)

[10] 巨天珍.天水小陇山锐齿栎群落种间关系定量分析[J].西北

植物学报,1995,15(3):250-253.
Ju T Z. A quantitation study of the intespecific association of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community in Xiaolongshan Mountain of Tianshui [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 1995, 15(3): 250-253. (in Chinese)

[11] 赵中华,惠刚盈,袁士云,等.小陇山锐齿栎天然林空间结构特征[J].林业科学,2009,45(3):1-6.
Zhao Z H, Hui G Y, Yuan S Y, et al. Spatial structure characteristic of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* natural forest in Xiaolongshan [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(3): 1-6. (in Chinese)

[12] Gadow K V, Hui G Y, Albert M. Das winkelmass-ein strukturparameter zur beschreibung der individualverteilung in waldbeständen [J]. Centralblatt für das Gesamte Forstwesen, 1998, 115(1): 1-10.

[13] Aguirre O, Hui G Y, Gadow K V, et al. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 183: 137-145.

[14] 惠刚盈, Gadow K V, 胡艳波, 等. 结构化森林经营 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
Xi G Y, Gadow K V, Hu Y B, et al. Tructure-based forest management [M]. Beijing: China Forestry Press, 2007. (in Chinese)

[15] Albert M. Analyse der eingriffsbedingten strukturveränderung und durchforstungsmodellierung in mischbeständen [J]. Dissertation Universität Göttingen Hainholz Verlag, 1999, 201S: 63-68.

[16] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(1): 23-27.
Xi G Y, Hu Y B. Measuring species spatial isolation in mixed forests [J]. Forest Research, 2001, 14(1): 23-27. (in Chinese)

[17] Gadow K V. Zur bestandesbeschreibung in der forsteinrichtung [J]. Forst und Holz, 1993, 48(21): 602-606.

[18] Fuldner K. Strukturbeschreibung von buchen-edellaubholz-mischwäldern [D]. Göttingen: Cuvillier Göttingen, 1995.

[19] 惠刚盈, 赵中华, 袁士云. 森林经营模式评价方法: 以甘肃小陇山林区为例 [J]. 林业科学, 2011, 47(11): 114-120.
Xi G Y, Zhao Z H, Yuan S Y. Evaluation method of forest management models: A case study of Xiaolongshan forest area in Gansu Province [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(11): 114-120. (in Chinese)

[20] 惠刚盈, Gadow K V, Albert M. 一个新的林分空间结构参数: 大小比数 [J]. 林业科学研究, 1999, 12(1): 1-6.
Xi G Y, Gadow K V, Albert M. A new parameter for stand spatial structure neighbourhood comparison [J]. Forest Research, 1999, 12(1): 1-6. (in Chinese)

[21] Kuuluvainen T, Penttinen A, Leinonen K, et al. Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: An example from boreal spruce forests in Southern Finland [J]. Silva Fennica, 1996, 30: 315-328.