

农药胁迫对 2 种体色型麦长管蚜 生长发育和繁殖的影响

亢菊侠^{1,2}, 惠凯凯², 胡祖庆²

(1 杨凌职业技术学院 药物工程系, 陕西 杨凌 712100; 2 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】研究农药胁迫对不同体色型麦长管蚜生长发育和繁殖的影响, 为蚜虫生态遗传与进化提供理论依据。【方法】在不同剂量氧化乐果、吡虫啉农药胁迫下, 于人工气候箱中饲养 2 种不同体色型(红色型和绿色型)麦长管蚜(*Sitobion avenae* Fab.) 初生若蚜, 分别测定各处理麦长管蚜的发育历期、体质量差、相对日均体质量增长率、种群平均世代周期、净增殖率及内禀增长率等生长发育和繁殖生物学参数。【结果】随着氧化乐果和吡虫啉施用剂量的增加, 2 种体色型麦长管蚜的发育历期、种群平均世代周期均增加, 且绿色型麦长管蚜增加幅度比红色型大; 2 种体色型麦长管蚜的相对日均体质量增长率、净增殖率、内禀增长率均减少, 且绿色型麦长管蚜减小幅度比红色型大。【结论】农药胁迫对 2 种体色型麦长管蚜的生长发育具有显著的延缓作用, 对其繁殖有显著的抑制作用, 且绿色型麦长管蚜比红色型更敏感。

【关键词】 农药胁迫; 麦长管蚜; 体色生物型; 生长发育; 繁殖

【中图分类号】 S435.122⁺.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)07-0092-05

Effect of pesticide stress on the development and reproduction of different body-color biotypes of *Sitobion avenae* (Fab.)

KANG Ju-xia^{1,2}, HUI Kai-kai², HU Zu-qing²

(1 Department of Pharmacy Engineering, Yangling Vocational & Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 Effects of pesticide stress on different body-color biotypes of colors of aphids were studied to provide theoretical basis for genetic inheritance and evolution. 【Method】 Under strict controlled conditions in artificial bioclimatic chamber, new-born nymph of red and green biotypes of *Sitobion avenae* were placed on wheat treated under pesticide stress. Their impacts on biological characteristics of aphids (development duration (*T*), weight difference, mean relative growth rate (*MRGR*), mean generation time, net reproduction rate and intrinsic rate of increase) were subsequently measured. 【Result】 The results illustrated that under pesticide stress, as the dose of omethoate and imidacloprid increased, the two body-color biotype of wheat aphid developmental duration and the mean generation time were increased, but the weight differences, the relative growth rate of average daily body weight, net reproductive rate and intrinsic growth rate were reduced. 【Conclusion】 Under pesticide stress, the two body-color biotypes reproduction of aphid was reduced, and the green biotype was more sensitive than the red one.

Key words: pesticide stress; *Sitobion avenae* Fab.; body-color biotypes; development; reproduction

* [收稿日期] 2010-12-23

[基金项目] 国家自然科学基金项目(39970112, 30470268)

[作者简介] 亢菊侠(1977—), 女, 陕西岐山人, 硕士, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: kangjuxia123@yahoo.com.cn

[通信作者] 胡祖庆(1979—), 男, 安徽怀宁人, 讲师, 硕士, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: huzuqing@nwsuaf.edu.cn

麦长管蚜(*Sitobion avenae* (Fab.)),属半翅目(Hemiptera)蚜科(Aphididae),在世界各地均有分布。在我国,麦长管蚜是禾谷类作物上的重要害虫,并能传播大麦黄矮病毒病(BYD)。麦长管蚜营孤雌生殖,繁殖快且繁殖量大,种下分化迅速^[1]。影响蚜虫种群遗传多样性的因素主要有寄主选择压力和环境胁迫^[2-4]。目前由于农药的大量使用,生态环境遭致破坏,给动植物种群造成了强大的选择压力,迫使一些种群无法生存;而另一些种群则因适应新的环境而进化,如害虫对化学农药产生的抗性、各种种下型的出现、地方种群中所产生的各种变异等。孙继英等^[5]研究表明,农药胁迫在较小的地理范围内影响了环纹豹蛛种群的遗传组成,产生了遗传分化,迫使种群对局部环境产生了适应性变异。傅建炜等^[6]认为,农药施用等人为因子会影响黄曲条跳甲地理种群的分化。姚建秀等^[7]通过 RAPD 分析,证明农药是诱导蚜虫种下遗传分化的主要因素之一。但目前关于农药胁迫对不同体色生物型蚜虫生长和繁殖的影响尚未见报道,为此,本研究在不同种类和不同剂量农药胁迫下,对不同体色型麦长管蚜的初生若蚜进行饲养,通过蚜虫生物学参数分析农药胁迫对不同体色型麦长管蚜的影响,以期为蚜虫的生态遗传与进化及害虫综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 盆栽小麦的种植 小麦(小偃 22)种子由西北农林科技大学农学院提供。土壤是由西北农林科技大学农学院提供的全营养土,以保证试验麦苗营养一致。

将全营养土装入花盆,小麦种子播于土下 2~3 cm,每盆 3 粒。施足水,室温放置,待其出苗后备用。

1.1.2 麦长管蚜的采集与饲养 从陕西杨凌小麦田间采回绿色型和红色型 2 种麦长管蚜,分别接种在不同的小麦上(绿色型作为一组,红色型作为另一组,分开饲养),放在实验室人工气候箱内单头饲养 4~5 代;绿色型麦长管蚜饲养温度为 20℃,红色型为 27℃;光周期为 14 h/10 h(L/D);相对湿度 70%~85%。此时的麦长管蚜为单克隆系。待达到试验要求数量后,取发育较好的麦长管蚜成蚜备用。

1.2 不同体色型麦长管蚜的农药胁迫处理

将不同体色型单克隆系麦长管蚜成蚜放在装有湿润滤纸的培养皿中,分别喷稀释 2 000,4 000,

8 000 倍氧化乐果(天津市施普乐农药发展有限公司生产的 40% 氧化乐果乳油)和稀释 10 000,20 000,40 000 倍吡虫啉(陕西上格之路生物科技有限公司生产的 70% 可湿性粉剂),10 min 后将成蚜转移到盆栽小麦上,放入 1.1.2 中人工气候箱内饲养。收集第 2~3 天内所产的初生若蚜进行下一步试验。以清水代替农药为对照。

1.3 不同体色型麦长管蚜生物学参数的测定

对每组处理收集 30 头初生若蚜,单头称质量(W1)后接于小麦上,夹上小笼罩,放入 1.1.2 中人工气候箱内饲养,每天观察,记录当日存活情况,待若蚜变为成蚜后再称质量(W2),并记录发育历期(DD),继续观察记录蚜虫的产仔数量,剔除若蚜,保留成蚜,继续观察直到成蚜全部死亡。

用相对日均体质量增长率(MRGR)^[8-9]表示麦长管蚜生长发育变化情况: $MRGR = (\ln W2 - \ln W1)/DD$ 。

麦长管蚜繁殖参数用下式^[10]计算: $R_0 = \sum l_x m_x$, $T = \sum x l_x m_x / R_0$, $r_m = \ln R_0 / T$ 。

式中: R_0 为净增殖率; x 为试验天数; l_x 为每天蚜虫的存活百分率; m_x 为特定年龄生殖率,以平均每个雌体的产雌率表示; r_m 为内禀增长率; T 为种群平均世代周期。

1.4 数据处理

采用 SPSS 13.0 软件对试验数据进行方差分析和 Duncan's 多重比较。

2 结果与分析

2.1 农药胁迫对不同体色型麦长管蚜生长发育的影响

由表 1 可知:1)当氧化乐果稀释倍数为 2 000 时,红色型麦长管蚜发育历期显著高于对照($P < 0.05$);而稀释倍数等于或低于 4 000 时,绿色型麦长管蚜发育历期显著高于对照($P < 0.05$),说明氧化乐果胁迫对绿色型麦长管蚜发育历期的影响大于红色型。2)在氧化乐果不同稀释倍数下,红色型和绿色型麦长管蚜体质量差与对照均无显著差异,说明氧化乐果胁迫对绿色型和红色型麦长管蚜的体质量差均无显著影响。3)当氧化乐果稀释倍数为 2 000 时,红色型麦长管蚜相对日均体质量增长率显著低于对照($P < 0.05$);而稀释倍数等于或低于 4 000 时,绿色型麦长管蚜相对日均质量增长率显著低于对照($P < 0.05$),说明氧化乐果对绿色型麦长管蚜相对日均体质量增长率的影响大于红色型。综

合以上 3 个指标可知,在氧化乐果胁迫条件下,随着剂量的增加,2 种体色型麦长管蚜的生长发育逐渐延缓,且绿色型麦长管蚜较红色型敏感。

由表 2 可知:1)当吡虫啉稀释倍数为 10 000 时,红色型麦长管蚜发育历期显著高于对照($P<0.05$);而稀释倍数等于或低于 20 000 时,绿色型麦长管蚜发育历期显著大于对照($P<0.05$),说明吡虫啉对绿色型麦长管蚜发育历期的影响大于红色型。2)在吡虫啉不同稀释倍数下,红色型麦长管蚜体质量差与对照均无显著差异;而当吡虫啉稀释倍数为 10 000 时,绿色型麦长管蚜的体质量差显著低

于对照($P<0.05$),说明吡虫啉对绿色型麦长管蚜体质量差的影响大于红色型。3)当吡虫啉稀释倍数为 10 000 时,红色型麦长管蚜相对日均体质量增长率显著低于对照($P<0.05$);而当稀释倍数等于或低于 20 000 时,绿色型麦长管蚜相对日均体质量增长率显著低于对照($P<0.05$),说明吡虫啉对绿色型麦长管蚜相对日均体质量增长率的影响大于红色型。综合以上 3 个指标可知,在吡虫啉胁迫条件下,随着剂量的增加,2 种体色型麦长管蚜的生长发育逐渐延缓,且绿色型麦长管蚜比红色型敏感。

表 1 不同剂量 40%氧化乐果乳油对 2 种体色型麦长管蚜生长发育的影响

Table 1 Developmental biological parameters of different body-color biotypes of *S. avenae* under omethoate stress

稀释倍数 Dilution multiple	样本数 Number of sample	发育历期/d Developmental duration		体质量差/mg Weight difference		相对日均体质量增长率/% MRGR	
		红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype	红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype	红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype
CK	30	7.384±0.032 b	7.385±0.065 c	0.713±0.023 a	0.835±0.017 a	0.184±0.002 a	0.194±0.003 a
8 000	28	7.693±0.033 ab	7.487±0.064 c	0.652±0.038 a	0.775±0.012 a	0.179±0.002 ab	0.192±0.004 a
4 000	27	7.552±0.048 ab	7.716±0.083 b	0.704±0.047 a	0.708±0.026 a	0.181±0.003 ab	0.174±0.002 b
2 000	29	7.801±0.061 a	7.934±0.061 a	0.645±0.026 a	0.702±0.021 a	0.166±0.002 b	0.163±0.004 b

注:表中数据为“平均值±标准误”;同列数据后标不同小写字母者表示者差异达 5%显著水平(Duncan’s 检验)。下同。

Note:The data in the table are “mean±SE”;The different lowercase letters show that the mean difference is significant at $P<0.05$ by Duncan’s multiple range test at the same temperature. The same as the following tables.

表 2 不同剂量 70%吡虫啉对 2 种体色型麦长管蚜生长发育的影响

Table 2 Developmental biological parameters of different body-color biotypes of *S. avenae* under imidacloprid stress

稀释倍数 Dilution multiple	样本数 Number of sample	发育历期/d Developmental duration		体质量差/mg Weight difference		相对日均体质量增长率/% MRGR	
		红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype	红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype	红色型 Red biotype	绿色型 Green biotype
CK	30	7.383±0.038 b	7.383±0.063 c	0.710±0.024 a	0.832±0.017 a	0.186±0.002 a	0.194±0.002 a
40 000	29	7.741±0.053 ab	7.425±0.074 c	0.690±0.042 a	0.784±0.016 a	0.177±0.002 ab	0.186±0.003 ab
20 000	28	7.565±0.052 ab	7.812±0.058 b	0.702±0.041 a	0.739±0.025 ab	0.185±0.004 a	0.174±0.003 b
10 000	26	7.927±0.054 a	8.541±0.084 a	0.595±0.029 a	0.581±0.024 b	0.163±0.002 b	0.161±0.002 c

2.2 农药胁迫对不同体色型麦长管蚜繁殖的影响

由表 3 可知:1)当氧化乐果稀释倍数为 2 000 时,红色型麦长管蚜种群平均世代周期显著高于对照($P<0.05$);而稀释倍数等于或低于 4 000 时,绿色型麦长管蚜种群平均世代周期显著高于对照($P<0.05$);说明氧化乐果胁迫对绿色型麦长管蚜种群平均世代周期的影响大于红色型。2)当氧化乐果稀释倍数低于或等于 4 000 时,红色型麦长管蚜净增殖率显著低于对照($P<0.05$);而稀释倍数等于或低于 8 000 倍时,绿色型麦长管蚜净增殖率显著低于对照($P<0.05$)。说明氧化乐果胁迫对绿色型麦长管蚜净增殖率的影响大于红色型。3)当稀释倍数等于或低于 4 000 时,红色型麦长管蚜内禀增长率显著低于对照($P<0.05$);而稀释倍数等于或低于 8 000 时,绿色型麦长管蚜内禀增长率显著低

于对照($P<0.05$),说明氧化乐果对绿色型麦长管蚜内禀增长率的影响大于红色型。综合以上 3 个指标可知,在氧化乐果胁迫条件下,随着剂量的增加,2 种体色型麦长管蚜的繁殖量均减少,且绿色型麦长管蚜比红色型更敏感。

由表 4 可知:1)在吡虫啉不同稀释倍数下,红色型和绿色型麦长管蚜种群平均世代周期均与对照无显著差异,说明吡虫啉胁迫对红色型与绿色型麦长管蚜的种群平均世代周期均无显著影响。2)当吡虫啉稀释倍数等于或低于 40 000 时,绿色型和红色型麦长管蚜的净增殖率均显著低于对照($P<0.05$),其中当吡虫啉稀释 10 000 倍时,与对照相比,红色型麦长管蚜净增殖率减少 47%,绿色型麦长管蚜净增殖率减少 70%,说明吡虫啉对绿色型麦长管蚜净增殖率的影响大于红色型。3)当吡虫啉稀释倍数等

于或低于 20 000 时,红色型麦长管蚜内禀增长率显著低于对照($P<0.05$);而稀释倍数等于或低于 40 000 倍时,绿色型麦长管蚜内禀增长率显著低于对照($P<0.05$),说明吡虫啉对绿色型麦长管蚜内

禀增长率的影响大于红色型。综合以上 3 个指标可知,在吡虫啉胁迫条件下,随着剂量的增加,2 种体色型麦长管蚜的繁殖量均减少,且绿色型麦长管蚜比红色型更敏感。

表 3 不同剂量 40%氧化乐果乳油对 2 种体色型麦长管蚜繁殖的影响

Table 3 Fecundity biological parameters of different body-color biotypes of *S. avenae* under omethoate stress

稀释倍数 Dilution multiple	样本数 Number of sample	种群平均世代周期(T)/d Mean generation time		净增殖率(R_0)/%		内禀增长率(r_m) Intrinsic rate of increase	
		红色型	绿色型	红色型	绿色型	红色型	绿色型
		Red biotype	Green biotype	Red biotype	Green biotype	Red biotype	Green biotype
CK	30	17.42±0.54 b	16.45±1.47 c	53.53±3.25 a	50.42±2.63 a	0.243±0.019 a	0.221±0.008 a
8 000	30	18.23±0.87 ab	16.53±1.25 c	45.52±3.64 ab	40.55±2.82 b	0.221±0.016 a	0.096±0.011 b
4 000	29	19.75±0.48 ab	19.67±1.78 b	38.56±3.32 b	10.77±1.87 c	0.187±0.015 b	0.065±0.006 bc
2 000	27	20.48±0.13 a	20.24±1.22 a	10.77±1.25 c	4.94±3.15 d	0.128 ±0.014 c	0.045±0.006 c

表 4 不同剂量 70%吡虫啉对 2 种体色型麦长管蚜繁殖的影响

Table 4 Fecundity biological parameters of different body-color biotypes of *S. avenae* under imidacloprid stress

稀释倍数 Dilution multiple	样本数 Number of sample	种群平均世代周期(T)/d Mean generation time		净增殖率(R_0)/%		内禀增长率(r_m) Intrinsic rate of increase	
		红色型	绿色型	红色型	绿色型	红色型	绿色型
		Red biotype	Green biotype	Red biotype	Green biotype	Red biotype	Green biotype
CK	30	17.45±1.56 a	18.46±1.45 a	53.57±2.24 a	50.49±2.65 a	0.241±0.022 a	0.223±0.013 a
40 000	30	18.64±1.76 a	19.34±1.68 a	44.44±1.69 b	38.59±3.89 b	0.215±0.013 a	0.182±0.004 b
20 000	29	19.45±1.76 a	19.44±1.67 a	30.25±3.45 c	20.25±0.45 c	0.186±0.014 b	0.077±0.004 c
10 000	28	20.25±1.86 a	20.13±1.65 a	28.44±4.54 c	15.35±0.78 d	0.176±0.003 b	0.069±0.001 d

3 结论与讨论

本研究结果表明,随着氧化乐果和吡虫啉施用剂量的增加,2 种体色型麦长管蚜的发育历期、种群平均世代周期均增加,且绿色型麦长管蚜的增加幅度大于红色型;2 种体色型麦长管蚜的相对日均体质量增长率、净增殖率、内禀增长率均减少,且绿色型麦长管蚜减大幅度大于红色型。说明农药胁迫对 2 种体色型麦长管蚜的生长发育均有显著延缓作用,对其繁殖有显著抑制作用,且绿色型麦长管蚜比红色型敏感。

研究环境胁迫对蚜虫影响的最详细方法是生命表^[11-12],但这种方法对实验条件要求较高,费时较长。发育历期、体质量差和相对日均体质量增长率,是国外学者用于评价环境胁迫对蚜虫影响的一种简便方法^[12-13]。蚜虫日均体质量增长率是反映蚜虫是否适应寄主植物、能否正常生长发育的生物学参数;日均体质量增长率大,表示蚜虫在某种程度上对环境有一定的适应性;日均体质量增长率变小,表示外界环境对蚜虫有一定程度的干扰,所以可以通过日均体质量增长率的变化来判断昆虫是否正常生长发育、是否适宜于在某一环境下取食,因此 MRGR 被认为是能更好地反映昆虫变异的生态学参数^[14-15]。

为了深入研究农药胁迫对不同体色型麦长管蚜

的影响,笔者还在本试验基础上利用刺探电位图谱(EPG)技术,对经农药胁迫处理的麦长管蚜进行了一系列研究。由于本研究只对蚜虫成虫进行了胁迫处理,因此结果有一定的局限性,需要对不同虫态进行胁迫以增加试验结果的可信度。关于农药胁迫在蚜虫体色分化中的作用,还需要通过田间试验、或者借助于生物化学和分子生物学手段进行深入研究。

[参考文献]

[1] Thieme T,Heimbach U. Development and reproductive of cereal aphids (Homoptera: Aphididae) on winter wheat cultivars [J]. IOBC/WPRS Bulletin,1996,19(3):1-8.

[2] Thieme T. Adaptive significance of brown coloration in *Sitobion avenae* [J]. IOBC/WPRS Bulletin,1998,21(8):7-13.

[3] Inaizumi M. Life cycle of *Aphis gossypii* Glover (Homopter: Aphididae) with special reference to biotype differentiation on various hostplants [J]. Kontyu,1981,49(2):219-240.

[4] Tanaka K,Kamiuchi S,Ren Y. UV-induced skin carcinogenesis in xeroderma pigmentosum group A (XPA) gene-knock-out mice with nucleotide excision repair-deficiency [J]. Mutation Research,2001,47(2):31-40.

[5] 孙继英,彭光旭,胡波. 环纹豹蛛种群遗传多样性与其生境的关系 [J]. 应用生态学报,2007,18(5):1081-1085.

Sun J Y,Peng G X,Hu B. Genetic diversity of *Pardosa pseud- oannulata* populations and its relationships with habitats [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(5):1081-1085. (in Chinese)

[6] 傅建伟,陈小龙,尤民生. 黄曲条跳甲种群分化的 RAPD 分析 [J]. 生态学杂志,2008,27(12):2141-2145.
Fu J W, Chen X L, You M S. Population differentiation of striped flea beetle *Phyllotreta striolata*; RAPD analysis [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(12): 2141-2145. (in Chinese)

[7] 姚建秀,赵惠燕. 紫外条件诱导下麦长管蚜 DNA 的变异研究 [J]. 西北农业学报, 2001, 10(1): 33-36.
Yao J X, Zhao H Y. Study on the DNA mutation of wheat aphid under the ultraviolet [J]. Acta Agricultural Boreali-Occidentalis Sinica, 2001, 10(1): 33-36. (in Chinese)

[8] Zhao H Y, Yao J X. The study on the inducement DNA variance by temperature and insecticide on *Macrosiphun avenae* [C]//China Society of Plant Protection. Proceedings of the 15th international plant protection congress. Beijing: Foreign Languages Press, 2004: 322.

[9] 赵惠燕,汪世泽,董应才,等. 棉蚜体色变化的生态遗传学研究 [J]. 昆虫学报, 1993, 35(3): 282-289.
Zhao H Y, Wang S Z, Dong Y C, et al. Mechanism of body color transformation of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 1993, 35(3): 282-289. (in Chinese)

[10] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 79.
Zhang X X. Insect ecology and forecast [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 79. (in Chinese)

[11] Adams J B, van Emden H F. The biological properties of aphids and their host relationships: Aphid technology [M]. London: Academic Press, 1972: 47-49.

[12] 唐振华. 我国昆虫抗药性研究的现状及展望 [J]. 昆虫知识, 2000, 37(2): 97-102.
Tang Z H. Research status and perspectives of insect resistance to insecticides in China [J]. Entomological Knowledge, 2000, 37(2): 97-102. (in Chinese)

[13] Wellings P W, Leather S R, Dixon A F G. Seasonal variation in reproductive potential: A programmed feature of aphid life cycle [J]. Journal of Animal Ecology, 1980, 49: 975-985.

[14] Gonz  les W L, Ramírez C C, Olea N, et al. Host plant changes produced by the aphid *Sipha flava* consequences for aphid feeding behavior and growth [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2002, 103: 107-113.

[15] Cailaud C M, Dedryver C A, Simon J C. Reproductive potential of the cereal aphid *Sitobion avenae* on resistant wheat lines (*Triticum monococcum* Line) [J]. Annals of Applied Biology, 1994, 125: 219-232.

(上接第 82 页)

[25] Olson J S, Watts J A, Allison L J. Carbon in live vegetation of major world ecosystems [R]. Report ORNL-58620. Oak Ridge, Tenn: Oak Ridge Nation Laboratory, 1983: 15-25.

[26] 方精云,陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义 [J]. 植物学报, 2001, 43(9): 967-973.
Fang J Y, Chen A P. Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance [J]. Acta Botanica Sinica, 2001, 43(9): 967-973. (in Chinese)

[27] 肖复明,张 群,范少辉. 中国森林生态系统碳平衡研究 [J]. 世界林业研究, 2006, 19(1): 53-57.
Xiao F M, Zhang Q, Fan S H. Progress of research on carbon fixation and storage of forest ecosystems in China [J]. World Forestry Research, 2006, 19(1): 53-57. (in Chinese)

[28] 吴钦孝,韩洛川,王晗生. 油松飞播造林的地理分布和适宜性分区 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 18-23.
Wu Q X, Han L C, Wang H S. Geographical distribution and division of suitability for aerosowing Chinese pine [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(1): 18-23. (in Chinese)