

DOI:10.11937/bfyy.201704014

禾草-花卉混播群落中花卉植物生长特性

符 木¹, 刘 晶 晶¹, 高 亦 珂¹, 杨 明 琪², 靳 文 东², 张 启 翔¹

(1. 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 国家花卉工程技术研究中心, 城乡生态环境背景实验室, 北京林业大学 园林学院, 北京 100083; 2. 北京林大林业科技股份有限公司, 北京 100083)

摘 要:将花卉与禾草混播不仅能够丰富群落的景观结构和质感,还能有效地抑制杂草入侵。为研究禾草-花卉混播群落中适用的花卉种类和适合的混播比例,选择 22 种花卉与 2 种禾草为试材,按种子质量比设置 5 个不同梯度的禾草-花卉混播组合,比较不同组合建植群落中花卉的生长特性。结果表明:禾草-花卉混播群落中禾草不影响花卉植物的种类数量,但会抑制花卉植物的萌发率、成活率、植株密度、株高和冠幅的增长,抑制的强度与混播比例呈正相关。花卉与禾草的混播比例应不超过 1:2。为了群落景观的延续性和稳定性,禾草-花卉混播组合中应减少一年生花卉比例,增加多年生花卉比例;一年生花卉应选择萌发早,初期生长速率相对快的种类,多年生花卉应选择幼苗耐阴耐修剪的种类。

关键词:禾草-花卉混播群落;生长特性;播种比例;植物选择

中图分类号:S 68 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)04-0056-06

花卉混播是兴起于西方园林的一种新型园林草本花卉应用模式,具有物种丰富多样、景观优美自然、建植维护成本低廉、社会生态效益良好的优点^[1-2]。近年来,随着我国大力推行海绵城市和美丽中国建设步伐,花卉混播在我国园林绿化建设中的应用需求越来越大^[3]。国内常见的花卉混播组合基本全部由花卉植物组成,研究多集中于混播配置方法、组合植物选择、混播应用等方面^[4-6]。国外有研究表明,在花卉混播中引入禾草,禾草在群落中不仅能够充当背景,支撑花卉植物,丰富景观的结构和质感,还能够占据花卉植物周围的空间,抵御杂草的入侵^[7]。国内有相关研究将花卉植物引入观赏草坪建植缀花草坪^[8],但是尚鲜见在花卉混播群落中引入禾草,系统研究禾草-花卉混播群落中花卉植物的萌发、成活、生长发育规律以及景观效果的报道。该研究选择了 22 种花卉混播中的常见花卉植物配置花

卉混播组合,与 2 种禾草按照种子质量比设置 5 个不同梯度禾草-花卉混播组合,初步研究了混播群落中禾草对于花卉植物生长特性的影响,有助于指导设计者科学的选择植物种类和混播比例类配置禾草-花卉混播组合,扩大花卉混播的应用范围和应用形式。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选取了花卉混播中常用的 22 种花卉植物,包括一年生花卉:白晶菊(*Chrysanthemum paludosum*)、羽扇豆(*Lupinus micranthus*)、矢车菊(*Centaurea cyarus*)、翠菊(*Callistephus chinensis*)、抱茎金光菊(*Rudbeckia amplexicaulis*)、虞美人(*Papaver rhoeas*)、一年生飞燕草(*Consolida ajacis*)、硫华菊(*Cosmos sulphureus*)、大阿米芹(*Ammi majus*);多年生作一年生栽培花卉:美女樱(*Verbena tenera*)、轮蜂菊(*Scabiosa atropurpurea*)、柳叶马鞭草(*Verbena bonariensis*);多年生花卉:黑心菊(*Rudbeckia hirta*)、加拿大美女樱(*Verbena canadensis*)、紫色达利菊(*Dalea purpurea*)、西洋滨菊(*Leucanthemum vulgore*)、宿根亚麻(*Linum perenne*)、宿根鼠尾草(*Salvia japonica*)、宿根天人菊(*Gaillardia aristata*)、蛇鞭菊(*Liatris spicata*)、金鸡菊(*Coreopsis basalis*)、

第一作者简介:符木(1992-),男,硕士研究生,研究方向为园林植物应用与园林生态。E-mail:fumuforthy@bjfu.edu.cn.

责任作者:高亦珂(1966-),女,博士,教授,现主要从事园林花卉育种和花卉混播等研究工作。E-mail:gaoyk@bjfu.edu.cn.

基金项目:北京市教育委员会科学研究与研究生培养共建资助项目(BLCXY201613)。

收稿日期:2016-09-26

堆心菊(*Helenium bigelovii*)。禾草包括高羊茅(*Festuca elata*)和早熟禾(*Poa annua*)。种子由北京林大林业科技股份有限公司种业分公司提供。

1.2 试验方法

试验地位于北京市海淀区前八家苗圃内,光照条件良好。试验总用地 100 m²,用宽 30 cm 的园艺地布隔出 18 个 1.5 m×2.6 m 的试验小区,采用完全随机区组设计分布各混播组合,每个组合重复 3 次(图 1)。22 种花卉植物按照层次结构,季节景观搭配组合,设计密度为 2.5 g·m⁻²,根据每种花卉的设计株数、种子千粒质量和萌发率计算每种花卉的质量比例(表 1)。与禾草混播共设置 5 个梯度组成 5 个禾草-花卉混播组合,分别为花卉:禾草(质量比)=1:1、1:2、1:3、1:4、1:5,禾草中高羊茅和早熟禾的混合比例为 7:3(表 2),只播花卉组作为对照组。于 2015 年 4 月初播种,采用撒播法,大小粒种子分开并先后播种。播种后常规管理。

1.3 项目测定

在每个试验小区中选择 1 个 1 m×1 m 的固定样方,播种后 30 d 开始,每隔 20 d 进行一次观察测量,记录每个样方中每种花卉的植株数量,并随机选择 3 株测量其株高和冠幅。萌发率(%)=萌发后的幼苗数/设计种子粒数×100;成活率(%)=2016 年 5 月中旬植株数量/2015 年 10 月中旬植株数量×100。

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 统计软件对各混播组合中花卉植物的萌发率、成活率、种类数量、植株密度、株高、冠幅进行多因素方差分析,多重比较采用 Duncan 式新复极差法,检验水平 $P=0.05$ 。

C1	A1	E1
D1	E2	C2
F1	D2	F2
B1	A2	B2
E3	C3	F3
B2	A2	D3

注:A1~A3. 对照组,B1~B3. 1:1 组,C1~C3. 1:2 组,D1~D3. 1:3 组,E1~E3. 1:4 组,F1~F3. 1:5 组。

Note:A1—A3. Control mixture,B1—B3. Mixture 1:1,C1—C3. Mixture 1:2,D1—D3. Mixture 1:3,E1—E3. Mixture 1:4,F1—F3. Mixture 1:5.

图 1 各试验小区和各混播组合设计

Fig. 1 Experiment design of meadow mixture in each plot

表 1 各混播组中花卉植物种类及质量比例

Table 1 Forbs species and weight percentage in meadow mixture

序号 No.	种类 Species	拉丁学名 Latin name	比例 PCT/%
1	白晶菊	<i>Chrysanthemum paludosum</i>	1.00
2	美女樱	<i>Verbena tenera</i>	2.53
3	矢车菊	<i>Centaurea cyarus</i>	14.40
4	羽扇豆	<i>Lupinus micranthus</i>	22.86
5	翠菊	<i>Callistephus chinensis</i>	5.12
6	轮蜂菊	<i>Scabiosa atropurpurea</i>	5.41
7	抱茎金光菊	<i>Rudbeckia amplexicaulis</i>	0.51
8	虞美人	<i>Papaver rhoeas</i>	0.36
9	一年生飞燕草	<i>Consolida ajacis</i>	5.61
10	硫华菊	<i>Cosmos sulphureus</i>	0.81
11	大阿米芹	<i>Ammi majus</i>	1.07
12	柳叶马鞭草	<i>Verbena bonariensis</i>	1.52
13	黑心菊	<i>Rudbeckia hirta</i>	0.27
14	加拿大美女樱	<i>Verbena canadensis</i>	2.29
15	西洋滨菊	<i>Leucanthemum vulgore</i>	0.80
16	紫色达利菊	<i>Dalea purpurea</i>	8.00
17	宿根亚麻	<i>Linum perenne</i>	3.20
18	宿根鼠尾草	<i>Salvia japonica</i>	1.20
19	宿根天人菊	<i>Gaillardia aristata</i>	0.82
20	蛇鞭菊	<i>Liatris spicata</i>	4.40
21	金鸡菊	<i>Coreopsis basalis</i>	3.52
22	堆心菊	<i>Helenium bigelovii</i>	6.40

表 2 各混播组中禾草的种类和质量

Table 2 Grasses species and weight in each mixture

种类 Species	质量 Weight/g					
	对照组	1:1 组	1:2 组	1:3 组	1:4 组	1:5 组
	Control mixture	Mixture 1:1	Mixture 1:2	Mixture 1:3	Mixture 1:4	Mixture 1:5
高羊茅 <i>Festuca elata</i>	0.00	1.75	3.50	5.25	7.00	8.75
早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.00	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75
合计 Total weight	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50

2 结果与分析

2.1 萌发率和成活率

从表 3 可以看出,各混播组花卉植物的平均萌发率和平均成活率存在显著性差异($P<0.05$)。对照组花卉植物的平均萌发率要显著高于与禾草混播各组;1:1、1:2、1:3 组花卉植物平均萌发率之间无显著性差异,均显著高于 1:4 组和 1:5 组;1:4 组花卉植物平均萌发率显著高于 1:5 组。对照组花卉植物的平均成活率显著高于与禾草混播各组;1:1、1:2 组花卉植物平均成活率之间无显著性差异,1:3、1:4、1:5 组花卉植物平均成活率之间亦无显著性差异,后 3 组花卉植物平均成活率显著低于前 2 组。

表 3 各混播组花卉植物的平均萌发率和平均成活率差异显著性分析及多重比较

Table 3 Significance analysis and multiple comparison results of average germination rate and survival rate of forbs in each meadow mixture

组合 Meadow mixture	萌发率 Germination rate/%	F	P	成活率 Survival rate/%	F	P
对照组 Control mixture	37.46±0.32d			33.42±1.44c		
1:1组 Mixture 1:1	24.99±0.41c			21.63±1.24b		
1:2组 Mixture 1:2	24.72±0.28c	1 352.918	0.000 *	19.24±3.23b	54.688	0.000 *
1:3组 Mixture 1:3	24.96±0.31c			11.24±0.66a		
1:4组 Mixture 1:4	22.87±0.14b			14.18±2.37a		
1:5组 Mixture 1:5	19.84±0.18a			13.08±1.37a		

注:萌发率和存活率值为平均值±标准差,差异显著性水平为 $P=0.05$,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著。

Note: The value of germination rate and survival rate is average±standard deviation, difference significance level is $P=0.05$, the same letter indicates no significant difference, different letters indicate significant difference.

2.2 植物种类数量和总密度

图 2 表明,各混播组花卉植物种类的数量在不同时期相差不大。5 月对照组花卉植物种类数为 17 种,其它组合都是 16 种。各组花卉植物种类数量随着时间增加,到 6 月中旬达到最大值,均为 21 种,即所有花卉植物全部萌发出苗。7 月 5—25 日一年生

花卉大量死亡并进行了一次修剪,各组花卉植物种类数量均大量减少至 12 种左右。从 8 月开始,各组花卉植物种类数量随着时间开始减少,到生长季结束时为 9 种左右。第 2 年春季各组花卉植物种类数量相较于第 1 年年末有所减少,对照组为 7 种,1:1 组为 6 种,1:2 组、1:3 组、1:4 组和 1:5 组则均为 5 种。

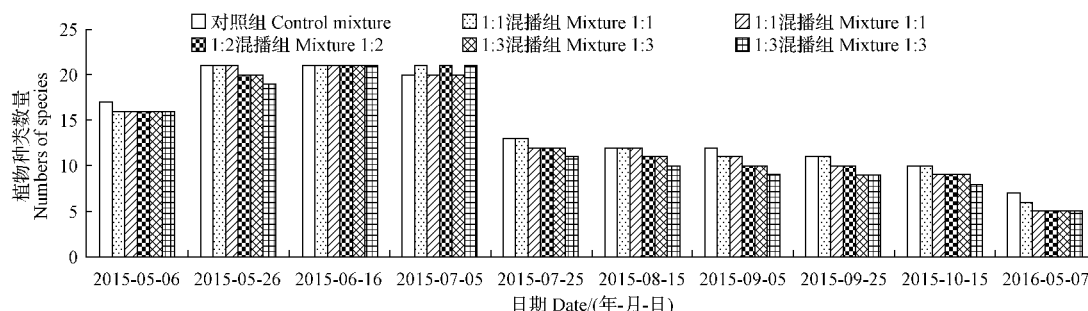


图 2 不同时期各混播组合中花卉植物种类数量

Fig. 2 Number of plant species in each meadow mixture during different time

从图 3 可以看出,所有混播组总密度的变化趋势都分成 3 个阶段,分别是第 1 年 5 月 6 日至 7 月 25 日、第 1 年 8 月 6 日至 10 月 15 日,第 1 年 10 月 15 日至第 2 年 5 月 7 日。在第一阶段,对照组,1:1

组和 1:2 组变化趋势一致,均先升高再降低;1:3 组,1:4 组和 1:5 组的变化趋势一致,均随着时间逐渐降低,没有升高的过程。7 月 5—25 日所有混播组总密度急剧降低。在第二阶段,所有混播组总密度基本维持不变。第三阶段所有混播组总密度又开始降低。在整个观察期中,对照组总密度始终显著高于与禾草混播各组总密度。在第一阶段中,1:1 组和 1:2 组总密度显著高于 1:3 组、1:4 组和 1:5 组总密度。而在第二阶段和第三阶段与禾草混播各组的总密度之间无显著差异。

2.3 株高和冠幅

由图 4 可知,第 1 年各混播组花卉植物平均株高的变化趋势基本一致,主要分为 2 个增长期、2 个减少期以及 1 个停滞期。从 5 月种子萌发后到 7 月初是花卉植物株高生长的第 1 个也是最重要的增长期,平均株高在 7 月初达到最高峰。整个 7 月平均

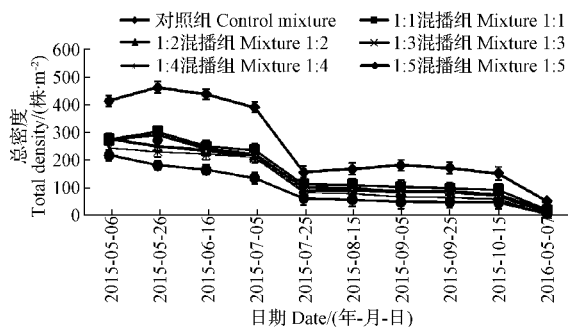


图 3 各混播组合中花卉植物总密度的时间变化曲线

Fig. 3 Time curve of forbs' total density in each meadow mixture

株高进入急剧减少期。7月下旬到8月下旬株高增长进入停滞期,基本没有变化。9月株高增长进入第2个增长期,但是增长量和增长速率均小于第1个增长期。10月过后平均株高开始缓慢减少,进入第2个减少期。在第1个增长期中,各混播组花卉植物的平均株高并没有显著差异,而从停滞期开始,对照组花卉植物平均株高开始显著高于与禾草混播各组,与禾草混播各组之间则没有显著性差异。

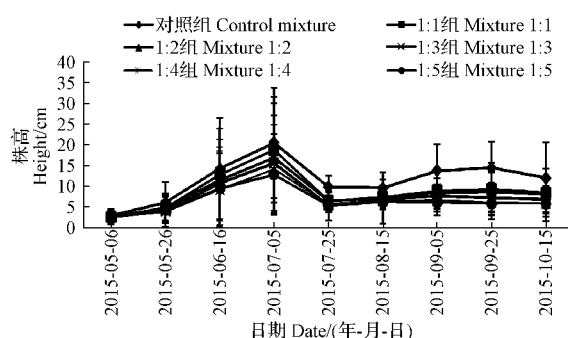


图4 第一年各混播组合中花卉植物
平均株高的时间变化

Fig. 4 Change of forbs' average plant height in
each madow mixture in 2015

从图5可以看出,第1年各混播组花卉植物平均冠幅的变化趋势基本一致,主要分为2个增长期、2个消退期以及1个停滞期。5月初到7月初为第一个冠幅增长期,平均冠幅在7月初达到顶峰。7月平均冠幅急剧消退。7月下旬到8月下旬是冠幅增长的停滞期,平均冠幅基本没有变化。8月下旬到9月中旬是冠幅增长的第2个增长期,增长量和第1个增长期基本相等,对照组的生长量和增长速率均超过了第1个增长期。9月中旬过后冠幅增长进入

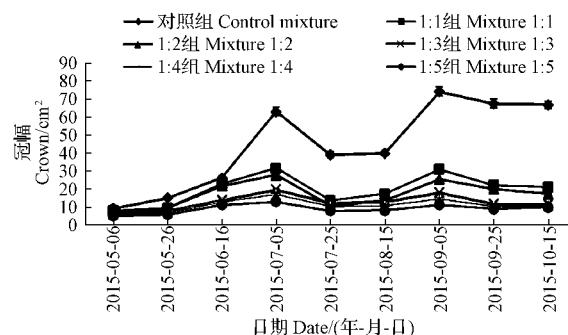


图5 第一年各混播组合中花卉植物
平均冠幅的时间变化

Fig. 5 Change of forbs' average crown in
each madow mixture in 2015

第2个消退期,平均冠幅开始缓慢下降。第1个增长期前期和停滞期各混播组花卉植物平均冠幅差异不显著,其它时期各花卉植物平均冠幅均存在显著差异,对照组平均冠幅显著高于与禾草混播各组,1:1组和1:2组平均冠幅显著高于1:3组、1:4组和1:5组,而1:1组和1:2组之间以及1:3组、1:4组和1:5组之间平均冠幅的差异不显著。

3 讨论与结论

3.1 禾草-花卉混播群落中禾草对花卉植物的影响

同一混播组花卉植物的种类数量在不同时期会产生较大的变化,所有混播组花卉植物的种类数量在7月5—25日都会大幅减少,这是由于这段时间内绝大部分一年生花卉(除了硫华菊和柳叶马鞭草)死亡。但是各混播组花卉植物种类的数量在同时间段内相差不大,即无论混播组中是否加入禾草以及加入禾草的比例,都不会导致某混播组花卉植物种类的显著增多或者减少,这说明在禾草-花卉混播群落中禾草不会影响花卉植物的种类数量。

该研究选用的高羊茅和早熟禾2种禾草,它们的萌发时间分别是播种后3d和播种后5d^[9-10],而混播组合中的花卉植物,萌发时间最快的是矢车菊,为播种后5d,最慢的是美女樱、加拿大美女樱和柳叶马鞭草,为播种后40~50d,其余的萌发时间均在播种后10~15d。禾草类的萌发速率是显著大于花卉植物的萌发速率。禾草类萌发后,会迅速的占领空间,大量的侵占水分、阳光等资源^[11],对较慢萌发的花卉植物产生不利的竞争影响,出苗顺序又会直接影响幼苗成活率^[12],从而导致花卉植物萌发率和幼苗成活率下降。对照组花卉植物的平均萌发率显著高于与禾草混播的各组,而1:1组、1:2组、1:3组花卉植物平均萌发率显著高于1:4组和1:5组,1:4组花卉植物平均萌发率显著高于1:5组。所以在禾草-花卉混播群落中禾草会抑制花卉植物的萌发,抑制作用与混播比例正相关。

在后续生长过程中,由于禾草对生存空间,土壤水分,以及光照等资源表现出较强竞争力,对花卉植物的生长产生的不利影响更为凸显。5—7月生长季前期,花卉植物生长主力是一年生花卉,随着禾草比例的加大,混播群落中禾草数量增多,种群密度过大,生存空间狭小,群落内部空气流通性差,湿度过大,群落密度会因为自疏作用而下降,花卉植物冠幅的增长亦受影响。群落中植物对光的竞争是来自邻株植物的遮荫^[13],而株高增加有利于获得更多有限

的光资源^[14],因此,大部分一年生花卉植物主要进行株高生长来竞争光照资源,完成生活史^[15-16]。7月大部分一年生植物死亡以及修剪操作会导致花卉植物总密度以及平均株高和平均冠幅急剧减少,7—8月的炎热天气也使得这段时期植物生长停滞。9月后天气逐渐凉爽,植物迎来第2个生长期,由于不会再有新植物萌发所以各混播组花卉植物密度基本保持不变,一年生植物消退以及修剪操作导致生存空间加大,故多年生花卉的平均株高和平均冠幅的增长开始成为花卉植物生长主力,直到生长季结束植物死亡。在整个生长季中,对照组花卉植物的密度和平均冠幅均显著大于与禾草混播各组,1:1组和1:2组显著大于1:3组、1:4组和1:5组;从生长季后期开始,对照组花卉植物的平均株高显著大于与禾草混播各组。第2年春萌发的主要是多年生花卉,因此第1年花卉植物的生长情况会直接地影响第2年花卉植物的成活率。所以在禾草-花卉混播群落中禾草会抑制花卉植物的密度、冠幅增长、平均成活率,从生长季后期开始抑制花卉植物株高的生长,抑制作用与混播比例正相关。

综合各混播组合中花卉植物各个生长指标的具体表现,在建植禾草-花卉混播群落时,花卉与禾草的比例应不超过1:2。

3.2 禾草-花卉混播群落中花卉植物的选择

人工植物群落中各个物种的共存与各个物种的生态位需求(资源分离)和相对竞争能力有关^[17]。不同的花卉植物由于生活型、自身生长节律以及对禾草竞争能力的不同,在群落内会产生不同的生长规律、生态位需求和景观效果。因此在建植禾草-花卉混播群落时,应该选择具有合适花卉植物与禾草进行混播,促进群落内形成良性竞争环境,从而产生理想的景观效果。

一年生花卉春季萌发,初夏开花后死亡,在与禾草混播中其初期生长速度是决定其成活与否的关键。该研究中的12种一年生花卉,白晶菊、矢车菊、抱茎金光菊、虞美人、大阿米芹、硫华菊由于初期生长速度快,在生长季前期与禾草竞争中能够顺利完成营养积累,到达花期,完成生活史,形成景观效果。美女樱、羽扇豆、一年生飞燕草、轮蜂菊、翠菊则由于初期生长速度慢,在与禾草的竞争中落败,无法完成营养积累达到花期。硫华菊由于自播能力强能在初秋迎来第2次花期,柳叶马鞭草萌发和生长期较晚,生长高峰在夏季,此时由于修剪大大削弱了禾草的竞争力,使得其能够顺利在夏末秋初达到花期。

多年生花卉在生长季前期主要以幼苗形式存在,适应禾草和一年生花卉造成的荫蔽环境,夏季一年生花卉死亡和以及修剪操作削弱禾草竞争力后,迎来生长高峰,因此较之一年生花卉多年生花卉更适宜与禾草进行混播。该研究中的10种多年生花卉,除了不耐修剪的加拿大美女樱、紫色达利菊、宿根亚麻和蛇鞭菊在修剪后逐渐消亡,其余的6种如西洋滨菊、黑心菊、宿根天人菊、金鸡菊、堆心菊、宿根鼠尾草皆能在夏秋迎来生长高峰,并在第2年春顺利萌发。

综上所述,建植禾草-花卉混播群落时应选择萌发早,初期生长速率快的一年生花卉,才能在与禾草的竞争中顺利完成营养积累达到花期,或者是自播能力强,生长期晚的种类,能在夏秋达到花期,形成景观。多年生花卉则应选择幼苗耐阴耐修剪的种类,才能够坚持到夏秋迎来生长的高峰,保证第2年成活。此外大部分一年生花卉在与禾草混播中难以自播,群落景观难以多年延续和稳定发展^[18],因此在组合配比中要适当的增加多年生花卉比例,减少一年生花卉比例。

3.3 禾草-花卉混播群落的发展与应用建议

单纯由花卉植物构成的花卉混播群落在几个生长停滞期景观效果较差,而且杂草入侵性较高。而禾草-花卉混播中禾草给花卉植物提供支撑与背景,丰富群落的景观结构和质感,抵御杂草入侵^[7]。因此,禾草-花卉混播群落中禾草对于花卉植物生长的影响,以及合适和花卉植物和禾草的混播比例值得研究。国内目前尚鲜见将禾草引入花卉混播的研究,国外的Lindum、Wildflower Turf、Coronet Turf等公司就推出了禾草:花卉=1:1(质量比)的混播草皮,开始在绿色屋顶,私家庭院等场所开始进行推广^[19]。Johnsons公司的‘Simplicity mix’混播组合中,每公顷播种量禾草:花卉=4:1(质量比),意图大面积的建植景观效果类似欧洲湿地草甸的混播草地^[20]。亦有研究指出,混播群落中景天科植物、多年生花卉、禾草对雨水截留能力为禾草>多年生花卉>景天科植物,这说明相对于一般的花卉混播群落,禾草-花卉混播群落具有更高的生态效益^[21],非常具有发展意义和应用前景。该研究只是初步研究了在一年的生长时间内混播中禾草对于22种花卉混播常用花卉植物的影响,以及适宜的混播比例,具体的花卉植物与禾草的竞争关系,长时间尺度上的禾草与花卉植物的混播群落的动态变化以及细致精确的混播比例都值得更进一步的研究。

参考文献

- [1] 王荷.野生花卉用于野花草地的营建初探[D].北京:北京林业大学,2009.
- [2] 方翠莲,高亦珂,白伟岚.花卉混播的特点与研究应用[J].广东农业科学,2012(24):53-55.
- [3] 符木,刘晶晶,高亦珂,等.花卉混播在低影响开发的雨水生态系统中的应用[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会、国家花卉工程技术研究中心.中国观赏园艺研究进展 2015.中国园艺学会观赏园艺专业委员会、国家花卉工程技术研究中心,2015:6.
- [4] 高亦珂,吴春水,袁加.北京地区草花混播配置方法研究[C]//中国风景园林学会.中国风景园林学会 2011 年论文集(下册).中国风景园林学会,2011:3.
- [5] 刘文竹,李坤峰,高亦珂.花卉混播组合研究初探[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会、国家花卉工程技术研究中心.中国观赏园艺研究进展 2011.中国园艺学会观赏园艺专业委员会、国家花卉工程技术研究中心,2011:3.
- [6] 刘晶晶,符木,高亦珂,等.以低成本花卉混播的方法构建雨水花园景观[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会、国家花卉工程技术研究中心.中国观赏园艺研究进展 2015.中国园艺学会观赏园艺专业委员会、国家花卉工程技术研究中心,2015:6.
- [7] PILLAR V D,DUARTE L D S,SOSINSKI E E,et al. Discriminating trait-convergence and trait-divergence assembly patterns in ecological community gradients[J]. Journal of Vegetation Science,2009(20):334-348.
- [8] 王云霞.缀花草坪的研究及发展现状[J].山东林业科技,2014(6):108-111,63.
- [9] 郑安俭,叶晓青,梅新彭. NaCl 胁迫对 3 个高羊茅品种发芽的影响[J].江苏农业科学,2008(4):165-167.
- [10] 扬旭东,潘桂兰.四种草坪草种子萌发特性和混播技术研究[J].青海草业,2000(1):16-19.
- [11] 方翠莲.花卉混播中植物生长动态与生态效益分析[D].北京:北京林业大学,2013.
- [12] 武高林,杜国祯.植物种子大小与幼苗生长策略研究进展[J].应用生态学报,2008(1):191-197.
- [13] DALE M P,CAUSTON D R. The ecophysiology of *Veronica chamaefrrys*, *V. montana* and *V. officinalis* L. light quality and light quantity[J]. Journal of Ecology,1992,80:483-492.
- [14] TREMMEL D C,BAZZAZ F A. How neighbor canopy architecture affects target plant performance[J]. Ecology,1993,74(7):2114-2124.
- [15] SEABLOOM E W,HARPOLE W S,REICHMAN O,et al. Invasion,competitive dominance,and resource use by exotic and native *California grassland* species[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2003,100(23):13384-13389.
- [16] HITCHMOUGH J,WAGNER M. The dynamics of designed plant communities of rosette forming forbs for use in supra-urban drainage swales[J]. Landscape and Urban Planning,2013,117(3):122-134.
- [17] 王平,周道玮,张宝田.禾-豆混播草地种间竞争与共存[J].生态学报,2009(5):2560-2567.
- [18] 刘晶晶.花卉混播群落动态分析及应用研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [19] 雍玉冰.野花草地景观快速建植技术[J].现代园艺,2015(12):29-30.
- [20] WESTBURY D B,DUNNETT N P. The promotion of grassland forb abundance: A chemical or biological solution?[J]. Basic and Applied Ecology,2008,9(6):653-662.
- [21] NAGASE A,DUNNETT N. Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species,diversity and plant structure[J]. Landscape and Urban Planning,2012,104(3):356-363.

Growth Characteristics of Forbs in Grass-forb Mixture Communities

FU Mu¹, LIU Jingjing¹, GAO Yike¹, YANG Mingqi², JIN Wendong², ZHANG Qixiang¹

(1. Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation and Molecular Breeding/National Engineering Research Center for Floriculture/Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment/College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083; 2. Beijing Forestry University Forest Science Co. Ltd., Beijing 100083)

Abstract: The grasses could not only enrich the structure and texture of the landscape in flower meadow, but also effectively resist the invasion of weeds. In order to choose the appropriate species of forbs and sowing ratio for grass-forb mixture community, 22 kinds of forbs were chosen to be sown with 2 kinds of grass in 5 gradients setting in accordance with the weight ratio. The growth characteristics of forbs in different mixture communities was compared. The results showed that grasses in grass-forb mixture communities would not affect the species' number of forbs, but it would cause inhibitions on forbs' germination rate, survival rate, plant density, height and crown growth, which were positively related to the sowing rate. The sowing rate of forbs and grasses should not exceed 1 : 2. When establishing a forb-grass mixture community, the proportion of annual forbs needed to be reduced and the proportion of perennial forbs needed to be increased to enhance continuity and stability. The annual forbs which germination early and grow faster in initial period and the perennial forbs which tolerant shading and pruning during their seeding should be chosen.

Keywords: grass-forb mixture community; growth characteristics; sowing rate; plant selection