

金荞麦收集系株型相关性状遗传变异分析

任蓉蓉^{1,2}, 王璐媛^{2,3}, 陈庆富², 唐彬², 荣玉萍², 黄娟^{2*}

(1. 贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550001; 2. 贵州师范大学荞麦产业技术研究中心, 贵阳 550001;

3. 山西省长治市屯留区职业高级中学, 长治 046000)

摘要: 以金荞麦 (*Fagopyrum cymosum*) 为供试材料, 对 211 份金荞麦收集系的 4 个株型相关性状 (株高、主茎粗、主茎节数和主茎分枝数) 进行了评价, 并对其进行了相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果显示: 4 个株型相关性状的变异系数为 11.90%~19.05%。相关分析表明, 株高与主茎粗 (0.389**)、主茎节数 (0.278**)、主茎分枝数 (0.427**) 呈极显著正相关, 主茎粗与主茎节数 (0.521**)、主茎分枝数 (0.326**) 呈极显著正相关, 主茎节数与主茎分枝数 (0.563**) 呈极显著正相关。主成分分析将 4 个株型相关性状综合为 3 个主成分, 前 3 个主成分累计贡献率达 91.82%。系统聚类分析表明, 211 份金荞麦收集系可划分为 7 类, 其中 C1 (包括 29 份供试材料) 的株型相关性状较好, 主要表现为: 株高较高 (152.85 ± 5.04) cm、主茎较粗 (6.13 ± 0.70) mm、主茎节数最多 (14.28 ± 1.50) 以及主茎分枝数较多 (11.31 ± 1.41), 可作为优异的金荞麦种质资源进一步开发利用。

关键词: 金荞麦; 株型相关性状; 遗传变异分析; 株高; 主茎粗

中图分类号: S517

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2022)03-0405-07

Genetic variation analysis of plant architecture-related traits of golden buckwheat accessions (*Fagopyrum cymosum*)

REN Rongrong^{1,2}, WANG Luyuan^{2,3}, CHEN Qingfu², TANG Bin², RONG Yuping², HUANG Juan²

(1. School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001;

2. Research Center of Buckwheat Industry Technology, Guizhou Normal University, Guiyang 550001;

3. Vocational Senior Middle School of Tunliu District in Changzhi City of Shanxi Province, Changzhi 046000)

Abstract: In this study, 211 golden buckwheat (*Fagopyrum cymosum*) accessions were used as experimental materials to evaluate four plant architecture-related traits, including plant height, stem diameter, number of main stem nodes and number of main stem branches, and the correlation analysis, principal component analysis (PCA) and cluster analysis were performed. The result showed that coefficient variation of the four tested traits ranged from 11.90% to 19.05%. The correlation analysis showed that the plant height was significantly positively correlated to the stem diameter (0.389**), number of main stem nodes (0.278**), and number of main stem branches (0.427**). The stem diameter was significantly positively correlated to the number of main stem nodes (0.521**) and the number of main stem branches (0.326**). The number of the main stem nodes was significantly positively correlated to the number of main stem branches (0.563**). PCA analysis divided the four traits into three principal components, which accounted for 91.82% of the total variation among the golden buckwheat accessions. The cluster analysis classified the 211 golden buckwheat accessions into seven distinct categories, among which, C1, including 29 accessions, had superior plant height ($152.85 \text{ cm} \pm 5.04 \text{ cm}$), thicker stem diameter ($6.13 \text{ mm} \pm 0.70 \text{ mm}$), the most number of stem nodes (14.28 ± 1.50) and more main stem branches (11.31 ± 1.41) as compared with the other six categories. Therefore, accessions in C1 can be used as excellent golden buckwheat genetic resources for further exploitation and utilization.

收稿日期: 2021-08-17

基金项目: 国家燕麦荞麦现代农业产业技术体系专项资金(CARS-07-A5), 贵州省特色杂粮产业技术体系 (GZTSZLCYTX2021-01/GZTSZLCYTX2021-02) 和贵州师范大学学术新苗基金项目任务书 (A 类) (黔师新苗[2021]A16 号) 共同资助。

作者简介: 任蓉蓉, 硕士研究生。E-mail: 15703410879@163.com

* 通信作者: 黄娟, 博士, 副教授。E-mail: huang200669@163.com

Key words: golden buckwheat; plant architecture-related traits; genetic variation analysis; plant height; main stem diameter

金荞麦 (*Fagopyrum cymosum*) 属于蓼科荞麦属, 是一种多年生的草本植物。与其他的谷物相比, 金荞麦赖氨酸的含量很高, 氨基酸评分为 100, 具有极高的生物学价值^[1]。同时, 金荞麦是一种高黄酮类的重要作物, 它的营养价值丰富并且具有多种重要的临床及保健价值^[2], 例如, 控制炎症反应^[3]、降低痛感^[4]、抗氧化^[5]等。近年来, 随着经济条件的提高, 人们的保健意识逐渐增强, 荞麦等杂粮作物受到人们的重视和欢迎, 开展金荞麦相关研究具有重要意义。

株型对作物产量的形成具有重要作用^[6], 培育株型优良的幼苗是实现早熟丰产的重要保证^[7]。植株的产量与一些性状有关, 比如大豆产量受一些与产量负相关的性状影响, 如株高、重心高度和倒伏性等, 植株倒伏对大豆产量有很大影响, 影响程度甚至超过了其他产量相关的性状^[8]。白志刚^[9]明确了作物株型对光能分布及群体光能利用效率的影响规律, 为优化棉花的株型结构, 构建高光效群体提供了理论依据。据报道, 影响株型结构的性状主要包括株高、主茎粗、主茎节数和主茎分枝数等^[10-11]。合理的株高是作物高产的基础, 较高的株高可以获得更多的阳光, 积累更多的营养, 光合产物较多, 产量更高^[12]。袁志华等^[13]发现水稻的根系性状、茎秆与抗倒伏能力呈线性相关。茎秆和株高密切相关, 而株高增加又利于产量形成, 但植株过高易引起水稻倒伏, 导致水稻产量急剧下降^[11]。孙旭初^[14]提出加大茎秆的粗度和单位茎长干重有利于提高水稻的抗倒伏能力。对于大豆, 选择茎秆粗壮、株型收敛的抗倒伏品系, 是进行高产育种的有效途径^[15]。多效唑处理对骨红朱砂梅的枝条长度有显著的抑制作用, 对茎粗有显著的增粗作用, 因此可以从一定程度上控制株型^[16]。但美中不足的是许多优良品种植株细长, 影响品质及观赏性^[17]。Donald^[18]认为, 农作物个体具有最小竞争强度的理想株型, 不仅能够充分利用自身的有限环境, 而且不侵占相邻植株的空间环境。

近年来, 国内外的研究集中于金荞麦茎叶的开发利用, 金荞麦在临床上的治疗功效, 如抗氧化、消炎杀菌、抗肿瘤等方面的作用^[19-21], 以及金荞麦活性成分的提取与研究^[22], 对株型相关性状的研究较少。史吟欣等^[10]提出光照对金荞麦株型和营养品质有一定的影响, 在半阴条件下, 金荞麦的株型松

散, 叶面积较大, 叶片可接受到更多的光照, 这种条件下金荞麦的粗蛋白、干物质和粗灰分的含量高, 而粗脂肪含量低。由此可见, 金荞麦株型的差异可影响其产量和品质, 开展金荞麦株型调查和评价对于筛选金荞麦优异资源具有重要意义。课题组前期从贵州、云南、湖南等多个省份收集了 211 份金荞麦收集系, 本研究通过对 211 份金荞麦收集系的株高、主茎粗、主茎节数和主茎分枝数等 4 个株型相关性状进行评价, 分析这些性状之间的相关性, 筛选出合理株型的金荞麦种质资源, 以期金荞麦优异株型育种提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

211 份金荞麦收集系根茎材料与前期报道文献相同^[23], 由贵州师范大学荞麦产业技术研究中心金荞麦资源圃提供, 具体的采集信息和来源信息等见本课题组前期王璐瑗等^[23]等发表的文章。其中分别有 79、16、10、5 和 2 份种质资源来源于贵州省、云南省、湖南省、四川省及西藏自治区。

1.2 方法

1.2.1 金荞麦的种植 试验材料种植于贵州师范大学荞麦产业技术研究中心百宜基地, 剪取长 15~20 cm、带 2~3 个节、健壮的金荞麦枝条, 进行扦插繁殖, 扦插间距约为 10 cm, 插条深度约为枝条长度的 2/3, 同时保持土壤湿润, 同天内完成。约 2 个星期后统计成活率, 并对未达到 90% 的金荞麦收集系进行补插^[24]。

1.2.2 金荞麦株型相关性状的测定 在开花期调查 4 个株型相关性状, 即株高、主茎粗、主茎节数和主茎分枝数, 每个收集系调查 3 个单株。调查标准为: 株高是指从茎基部至最长茎枝顶端的距离; 主茎粗是指植株第一个节和第二个节之间中部的直径; 主茎节数是指主茎自地表起至顶端的总节数; 主茎分枝数是指植株主茎着生的一级分枝数^[23-24]。

1.2.3 数据处理 数据处理和分析方法参考文献^[25]进行, 用 SPSS 22.0 软件对 4 个株型相关性状的平均值、标准差等统计量、正态分布、相关关系以及主成分进行分析。使用 R4.1.0 统计软件 (<https://www.R-project.org/>) 的 hclust 函数完成 211 份收集系各个株型相关性状基于欧氏距离的相似性矩阵构建和基于离差平方和法 (Ward.D2) 的聚类

分析。

2 结果与分析

2.1 金荞麦收集系株型相关性状的变异分析

测量和分析 211 份金荞麦收集系的株型相关性状 (包括株高、主茎粗、主茎节数和主茎分枝数) 的数据, 结果见表 1。株高的平均值为 123.15 cm, 变异系数为 18.59%, 变异范围为 67.66 ~ 197.67 cm; 主茎粗的平均值为 5.70 mm, 变异系数为 19.05%, 变异范围为 3.08 ~ 8.64 mm; 主茎节数的平均值为

13.62, 变异系数为 11.90%, 变异范围为 9 ~ 18; 主茎分枝数的平均值为 10.10, 变异系数为 16.02%, 变异范围为 5 ~ 14。从变异系数上看, 金荞麦收集系 4 个株型相关性状变异系数的大小为: 主茎粗 > 株高 > 主茎分枝数 > 主茎节数, 说明主茎粗这一性状的变异最大, 主茎节数这一性状较其他性状更为稳定。对 211 份金荞麦收集系的正态分布分析 (图 1) 显示, 株高、主茎粗、主茎节数和主茎分枝数 4 个株型相关性状的偏度与峰度的绝对值均小于 0.5, 呈近似正态分布。

表 1 211 份金荞麦收集系的 4 个株型相关性状分析

Table 1 Analysis of four plant architecture-related traits in 211 golden buckwheat accessions

性状	平均值	标准差	变异范围	变异系数/%	偏度	峰度
株高	123.15 cm	22.89	67.66 ~ 197.67 cm	18.59	0.30	0.42
主茎粗	5.70 mm	1.09	3.08 ~ 8.64 mm	19.05	0.32	-0.41
主茎节数	13.62 个	1.62	9 ~ 18	11.90	0.06	-0.05
主茎分枝数	10.10 个	1.62	5 ~ 14	16.02	-0.10	0.22

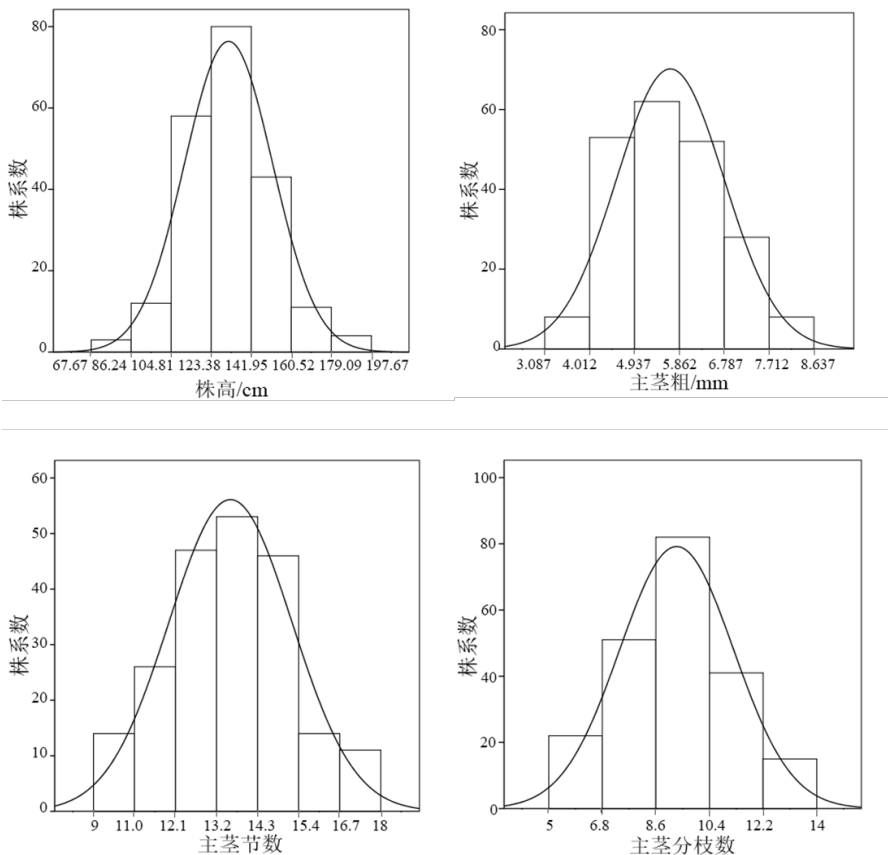


图 1 211 份金荞麦收集系 4 个株型相关性状的频率分布

Figure 1 Frequency of four plant architecture-related traits in 211 golden buckwheat accessions

2.2 金荞麦收集系株型相关性状的相关性分析

对 211 份金荞麦收集系的 4 个株型相关性状进行简单相关性分析 (表 2) 显示: 株高与主茎粗 (0.389**)、主茎节数 (0.278**) 和主茎分枝数

(0.427**) 呈极显著正相关, 株高与主茎分枝数的相关性最高; 主茎粗与株高 (0.389**)、主茎节数 (0.521**) 和主茎分枝数 (0.326**) 呈极显著正相关, 主茎粗与主茎节数的相关性最高; 主茎节数与

株高 (0.278**)、主茎粗 (0.521**)、主茎分枝数 (0.563**) 呈极显著正相关, 主茎节数与主茎分枝数的相关性最高; 主茎分枝数与株高 (0.427**)、主茎粗 (0.326**) 和主茎节数 (0.563**) 呈极显著正相关, 主茎分枝数与主茎节数的相关性最高。在这 4 个株型相关性状中, 主茎节数与主茎分枝数的相关性最高, 其次是主茎粗与主茎节数, 株高与主茎节数的相关性最低。

2.3 金荞麦收集系株型相关性状的主成分分析

对 211 份金荞麦收集系的 4 个株型相关性状进行主成分分析 (表 3), 按累积方差贡献率大于 85% 的原则, 提取出 3 个主成分, 这 3 个主成分的方差贡献率 α_1 、 α_2 和 α_3 分别为 56.465%、18.471% 和 16.884%, 累计贡献率为 91.820%。将株高、主茎粗、主茎节数、主茎分枝数等 4 个性状分别设为 X_I 、 X_{II} 、 X_{III} 和 X_{IV} , 根据各指标的特征值及与之相对应的特征向量, 可得到 3 个主成分与原 4 项指标的线

性组合如下:

$$F1 = 0.447X_I + 0.494X_{II} + 0.535X_{III} + 0.519X_{IV}$$

$$F2 = 0.832X_I - 0.157X_{II} - 0.531X_{III} - 0.020X_{IV}$$

$$F3 = 0.064X_I + 0.740X_{II} - 0.094X_{III} - 0.663X_{IV}$$

把上述选定的 3 个主成分的方差贡献率 α_1 、 α_2 和 α_3 当成权数, 再进行归一化处理, 计算主成分综合模型:

$$F = (\alpha_1 F1 + \alpha_2 F2 + \alpha_3 F3) / (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

$$\text{即 } F = 0.6150 F1 + 0.2012 F2 + 0.1839 F3$$

在以上基础上, 计算 211 份金荞麦收集系 4 个株型相关性状的综合得分。其中, 金酮 1 号、金酸 1 号、A1-1-1~10、A1-2-1~2、A1-4-1~2、A2-1-1、A2-2-1~5、A2-3-1~3、A2-4-1 和 A2-5-1~2 共 10 个株系的综合得分最高, B13-14、B13-6、B13-8、B13-9、B13-10、B13-12、B13-13、B13-15、金荞 1 号和金荞 2 号 10 个收集系的综合得分最低。

表 2 211 份金荞麦收集系 4 个株型相关性状的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of four plant architecture-related traits in 211 golden buckwheat accessions

性状	株高	主茎粗	主茎节数	主茎分枝数
株高	1			
主茎粗	0.389**	1		
主茎节数	0.278**	0.521**	1	
主茎分枝数	0.427**	0.326**	0.563**	1

注: *表示在 0.05 水平上显著相关, **表示在 0.01 水平上极显著相关。下同。

表 3 211 份金荞麦收集系 4 个株型相关性状的主成分分析

Table 3 Principal components analysis of four plant architecture-related traits in 211 golden buckwheat accessions

性状	特征向量		
	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
株高	0.447	0.832	0.064
主茎粗	0.494	-0.157	0.740
主茎节数	0.535	-0.531	-0.094
主茎分枝数	0.519	-0.020	-0.663

2.4 金荞麦收集系株型相关性状的聚类分析

通过对 211 份金荞麦收集系的株型相关性状进行聚类分析 (图 2) 显示, 样品被分为 7 类, 即 C1、C2、C3、C4、C5、C6 和 C7。其中, C1 包含 29 个株系, 占总数的 13.74%, PCA 综合得分为 1.55 分, 显著高于其他类群, 其中有 23 份来自贵州省, 这一类群表现为: 株高较高 (152.85 cm)、主茎较粗 (6.13 mm)、主茎节数较多 (14.28) 以及主茎分枝数较多 (11.31)。C2 包含 31 个株系, 占总数的 14.69%, PCA 综合得分为 0.72 分, 其中有 13 份来自云南省, 12 份来自贵州省, 这一类群表现为: 株

高中高 (137.10 cm)、主茎较粗 (5.69 mm)、主茎节数较多 (13.48) 以及主茎分枝数最多 (13.48)。C3 包含 32 个株系, 占总数的 15.17%, PCA 综合得分为 0.32 分, 其中有 13 份来自贵州省, 10 份来自湖南省, 这一类群表现为: 株高中低 (114.03 cm)、主茎较粗 (5.47 mm)、主茎节数较多 (13.98) 以及主茎分枝数较多 (10.6)。C4 包含 50 个株系, 占总数的 23.70%, 其 PCA 综合得分为 -0.13 分, 这一类群表现为: 株高较低 (99.90 cm)、主茎较粗 (5.47 mm)、主茎节数较多 (13.22) 以及主茎分枝数中等 (9.4)。C5 包含 53 个株系, 占总数的 25.12%, 是

最大的一个类群, 其 PCA 综合得分为 -0.79 分, 这一类群表现为: 株高中等 (125.16 cm)、主茎较粗 (5.71 mm)、主茎节数较多 (13.53) 以及主茎分枝数中等 (9.89); C6 包含 8 个株系, 占总数的 3.79%, 其 PCA 综合得分为 -1.55 分, 这一类群表现为: 株高最高 (178.88 cm)、主茎最粗 (7.60 mm)、主茎节数最多 (15.21) 以及主茎分枝数较多 (11)。C7 包含 8 个株系, 占总数的 3.79%, 其 PCA 综合得分为 -2.06

分, 这一类群表现为: 株高最低 (74.25 cm)、主茎最细 (4.57 mm)、主茎节数最少 (11.75) 以及主茎分枝数最少 (7.58)。在这 7 个类群中, C6 的株高和主茎粗均显著大于其他类群, C1 和 C6 的主茎节数显著大于其他类群, C2 的主茎分枝数显著大于其他类群。根据主成分分析的综合得分, 计算各类群综合得分的平均分, 结果显示 C1 的综合得分 (1.55 分) 显著大于其他类群 (表 4)。

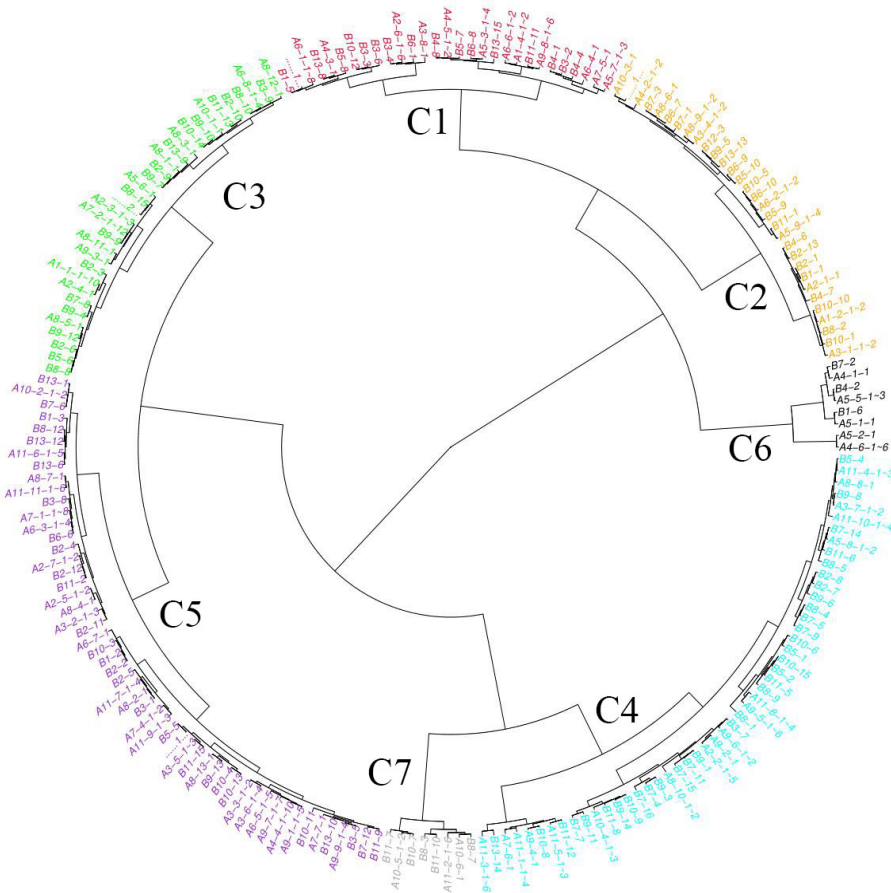


图 2 211 份金荞麦收集系 4 个株型相关性状的聚类分析

Figure 2 Dendrogram of four plant architecture-related traits in 211 golden buckwheat accessions

表 4 211 份金荞麦收集系各类群株型相关性状的差异

Table 4 Differences of four plant architecture-related traits of distinct categories in 211 golden buckwheat accessions

类群	株系数 (百分比)	PCA 综合得分	株高/cm	主茎粗/mm	主茎节数	主茎分枝数
C1	29 (13.74%)	1.55 ± 0.50 ^a	152.85 ± 5.04 ^b	6.13 ± 0.70 ^b	14.28 ± 1.50 ^{ab}	11.31 ± 1.41 ^b
C2	31 (14.69%)	0.72 ± 0.15 ^b	137.10 ± 3.08 ^c	5.69 ± 0.77 ^b	13.48 ± 1.43 ^b	13.48 ± 1.43 ^a
C3	32 (15.17%)	0.32 ± 0.11 ^c	114.03 ± 3.00 ^e	5.47 ± 0.98 ^b	13.98 ± 1.27 ^b	10.60 ± 1.51 ^{bc}
C4	50 (23.70%)	-0.13 ± 0.17 ^d	99.90 ± 5.46 ^f	5.47 ± 1.19 ^b	13.22 ± 1.54 ^b	9.40 ± 1.69 ^d
C5	53 (25.12%)	-0.79 ± 0.27 ^e	125.16 ± 3.73 ^d	5.71 ± 1.04 ^b	13.53 ± 1.80 ^b	9.89 ± 1.30 ^{cd}
C6	8 (3.79%)	-1.55 ± 0.12 ^f	178.88 ± 11.83 ^a	7.60 ± 0.79 ^a	15.21 ± 1.08 ^a	11.00 ± 0.93 ^b
C7	8 (3.79%)	-2.06 ± 0.37 ^e	74.25 ± 4.46 ^e	4.57 ± 1.00 ^c	11.75 ± 1.19 ^c	7.58 ± 0.96 ^e

3 讨论与结论

株型是植物特征的外在表现, 是植物鉴定和分类的重要依据之一^[26], 受到遗传因素与环境条件的

共同作用。

3.1 金荞麦收集系株型相关性状的变异分析

变异系数是用来衡量数据中各观测值变异程度的一个统计量, 一个群体当中某一性状的变异系数

越大,则说明此性状变异越丰富,越有利于筛选极端株系,以达到选育目标^[27]。本研究4个株型相关性状中,主茎粗的变异系数最大,为19.05%,变异范围为3.08~8.64 mm。说明主茎粗这一性状的变异最大,可能对株型的影响较大,有更广泛的选择范围,这为选育合理株型的金荞麦提供了有效的种质资源。变异程度的大小可以间接地反映群体内表型多样性的丰富程度^[28]。各个性状的变异系数以主茎粗最大,其次是株高,有利于进行进一步的育种选择。其中,株高这一性状可以用来进一步研究植株的抗倒伏能力^[29]。主茎节数和主茎分枝数的变异系数较小,说明这2种性状的变异较稳定^[30]。

3.2 金荞麦收集系株型相关性状的相关性分析

本研究通过对211份金荞麦收集系的株型相关性状(包括株高、主茎粗、主茎节数和主茎分枝数)的简单相关性分析发现,一些性状之间存在极显著相关性。其中,株高与主茎粗、主茎节数和主茎分枝数呈极显著正相关,株高与主茎分枝数的相关性最高,说明主茎分枝数对株高的影响最大;主茎粗与株高、主茎节数和主茎分枝数呈极显著正相关,主茎粗与主茎节数的相关性最高,说明主茎节数对主茎粗的影响最大;主茎节数与株高、主茎粗和主茎分枝数呈极显著正相关,主茎节数与主茎分枝数的相关性最高,说明主茎分枝数对主茎节数的影响最大;主茎分枝数与株高、主茎粗、主茎节数呈极显著正相关,主茎分枝数与主茎节数的相关性最高,说明主茎节数对主茎分枝数的影响最大。综上,主茎分枝数对株高、主茎节数的影响最大,主茎节数对主茎粗、主茎分枝数的影响最大。在这4个株型相关性状中,主茎节数与主茎分枝数的相关性最高,其次是主茎粗与主茎节数,株高与主茎节数的相关性最低。说明主茎节数与主茎分枝数之间的影响最大,对株型的影响可能最大。主茎节数越多,主茎分枝数越多,株型松散。株型松散的金荞麦节数、主茎分枝数较多,粗蛋白、粗灰分和干物质含量高,粗脂肪含量低,叶片可以接受到更多的光照^[10]。

3.3 金荞麦收集系株型相关性状的主成分分析

主成分分析的结果较直观,可把作物的多个性状转化为少数的几个主成分,这几个主成分即可很大程度上概括作物的信息^[31]。本研究应用主成分分析,按累积方差贡献率大于85%的原则,提取出3个主成分,累计解释表型变异的91.82%。211份金荞麦收集系综合得分排名前10位的依次是金酮1号、金酸1号、A1-1-1~10、A1-2-1~2、A1-4-1~2、A2-1-1、A2-2-1~5、A2-3-1~3、A2-4-1和A2-5-1~2。

这10种收集系的株型相关性状优良,可以为优质株型的金荞麦选育奠定基础。

3.4 金荞麦收集系株型相关性状的聚类分析

本研究基于211份金荞麦收集系的株型相关性状对其进行聚类分析,结果样品被分为7类,即C1、C2、C3、C4、C5、C6和C7。其中C6的株高和主茎粗均显著大于其他类群,C1和C6的主茎节数显著大于其他类群,C2的主茎分枝数显著大于其他类群。在主成分分析的基础上,进一步计算各个类群的综合得分,得分越高,即显示该类群株型相关性状越好。结果显示,C1的综合得分显著大于其他类群(1.55分),其中有23份来自贵州省。说明C1(包括29类供试材料)的株型相关性状较好,主要表现为:株高较高(152.85 ± 5.04) cm、主茎较粗(6.13 ± 0.70) mm、主茎节数最多(14.28 ± 1.50)以及主茎分枝数较多(11.31 ± 1.41),可作为优异的金荞麦种质资源进一步地开发利用。聚类分析结果为选育出适合不同价值的金荞麦提供了优异的种质资源。这与邓蓉等^[32]的研究一致,显示其可应用于以后的选育工作,为育种提供优异的种质资源。

参考文献:

- [1] 颜学玲, 时政, 张云. 金荞麦中优效组分的网络药理学研究[J]. 中国药房, 2020, 31(5): 558-563.
- [2] 顾亮亮. 大野荞植物种质资源叶的品质评价及其富GABA叶茶新产品研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2014.
- [3] 耿琦, 刘斌, 赵鹏程, 等. 基于网络药理学和体外实验研究金荞麦治疗急性肺损伤的分子机制[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(18): 4816-4823.
- [4] 刘丽娜, 周梁, 田超, 等. 金荞麦总黄酮下调NR2B表达改善IBS大鼠痛觉过敏[J]. 中国药理学通报, 2012, 28(9): 1289-1293.
- [5] ZHAO J L, JIANG L, TANG X H, et al. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the flower volatile oils of *Fagopyrum esculentum*, *Fagopyrum tataricum* and *Fagopyrum cymosum*[J]. Molecules, 2018, 23(1): 182.
- [6] 李国卫, 秦圣豪, 刘译阳, 等. 花生株型相关性状研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(6): 934-939.
- [7] 明村豪, 蒋芳玲, 胡宏敏, 等. 幼苗徒长程度对黄瓜植株生长发育及产量品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(4): 29-34.
- [8] 李灿东, 郭泰, 王志新, 等. 黑龙江省中东部地区主栽大豆品种产量指标筛选及评价[J]. 作物杂志, 2021(2): 45-51.
- [9] 白志刚. 不同棉花品种基于冠层PAR空间分布的株型特征与生长发育的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [10] 史吟欣, 胡利珍, 张志飞, 等. 不同生境对野生金荞麦植物表型和营养成分的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 299-304.

- [11] 李红, 何炜, 连玲, 等. 水稻株型的研究进展[J]. 福建稻麦科技, 2020, 38(4): 61-66.
- [12] WANG Y H, LI J Y. Molecular basis of plant architecture[J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2008, 59: 253-279.
- [13] 袁志华, 赵安庆, 苏宗伟, 等. 水稻茎秆抗倒伏的力学分析[J]. 生物数学学报, 2003, 18(2): 234-237.
- [14] 孙旭初. 水稻茎秆抗倒性的研究[J]. 中国农业科学, 1987, 20(4): 32-37.
- [15] 史宏, 张娟, 毛婷婷, 等. 基于不同叶形大豆遗传群体产量性状综合评价[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(2): 34-42.
- [16] 沈晓飞, 刘政, 何国庆, 等. 多效唑与赤霉素调控盆栽梅株型和花期研究[J]. 浙江林业科技, 2020, 40(6): 40-45.
- [17] 汤勇华, 张栋梁, 顾俊杰. 不同生长延缓剂对盆栽玫瑰的矮化效果[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 138-140.
- [18] DONALD C M. The breeding of crop ideotypes[J]. *Euphytica*, 1968, 17(3): 385-403.
- [19] 乔红杰, 王贵平, 李春玲. 金荞麦根提取物对鸡脾淋巴细胞活性影响的血清药理学研究[J]. 动物医学进展, 2010, 31(3): 44-48.
- [20] 刘红岩, 韩锐. 金荞麦提取物抑制肿瘤细胞侵袭、转移和 HT-1080 细胞产生 IV 型胶原酶的研究[J]. 中国药理学通报, 1998, 14(1): 44-47.
- [21] 张宏旭, 曲杰, 王助新, 等. 金荞麦红车轴草黄酮对胃癌 SGC7901 细胞迁移的抑制作用及其机制[J]. 吉林大学学报(医学版), 2013, 39(1): 78-81.
- [22] 李红丽, 文丹丹, 周美亮, 等. 金荞麦抑瘤活性成份提取及作用机制研究进展[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2019, 24(7): 833-840.
- [23] 王璐瑗, 荣玉萍, 黄娟, 等. 211 份金荞麦收集系根茎黄酮含量的分析评价[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2019, 37(4): 25-30, 48.
- [24] 王璐瑗. 金荞麦根茎药用品质及其遗传研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2020.
- [25] 石桃雄, 郑俊青, 郑冉, 等. 苦荞重组自交系群体淀粉组分含量和产量的变异分析[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2021, 39(5): 1-6, 28.
- [26] 贾晓昀, 王士杰, 赵红霞, 等. 陆地棉株型及生育期相关性状 QTL 定位[J]. 棉花学报, 2021, 33(2): 124-133.
- [27] 郑冉, 黎瑞源, 吕丹, 等. 苦荞重组自交系群体籽粒性状遗传变异分析[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(5): 818-825.
- [28] 谭浩文. 川西南金荞麦种群形态差异与不同生境影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
- [29] 杨丽娟. 荞麦种间杂种的细胞学观察及不同环境对新类型苦荞的产量与品质的影响研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2019.
- [30] 黎瑞源, 石桃雄, 刘筱嘉, 等. 荞麦分子遗传学研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2014(11): 151-156.
- [31] 要燕杰, 高翔, 吴丹, 等. 小麦农艺性状与品质特性的多元分析与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 38-47.
- [32] 邓蓉, 向清华, 王安娜, 等. 11 份野生金荞麦资源的性状表现与聚类分析[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(4): 36-41.

安徽农业大学在真菌多样性与生态系统稳定性之间的关系方面取得重大突破

生物多样性与生态系统功能稳定性之间的关系是当代生态学领域的重大科学问题之一。过去研究多关注地上植物多样性在生态系统功能稳定性上的重要作用及其维持机制, 而地下生物类群尤其是真菌多样性与生态系统稳定性之间的关系仍然不够清晰。相较于土壤其他生物类群, 真菌功能类群和生态策略更为多样化, 这些不同功能类群如腐生真菌, 病原真菌和菌根真菌等在植物生产力维持、有机碳的积累和转化等关键生态过程和功能上发挥着重要且不可替代的作用。因此, 在全球尺度上探讨真菌不同功能类群多样性与生产力稳定性之间的关系对通过调节土壤生物多样性来维持未来生态系统功能稳定, 降低全球气候变化对生态系统结构和功能产生的消极影响具有重要的意义。

针对这一重要的科学问题, 我校王清奎团队作为合作者, 和其博士毕业研究生刘圣恩博士联合西班牙塞维利亚自然资源和农业生物研究所、中科院沈阳应用生态研究所等全球 15 个研究机构开展了三条独立的全球尺度的土壤调查, 包括森林, 沙漠, 草地等 10 种不同陆地生态系统, 覆盖全球 673 个不同地点, 利用二代和三代测序定量了土壤真菌不同功能类群的多样性。在此基础上深入探讨真菌多样性与 2001-2018 年间对应地点的植物生产力稳定性之间的联系。

结果显示, 独立于植物, 土壤真菌多样性在植物生产力稳定性上发挥着重要的作用, 并且这种作用与真菌功能类群的生态策略密切相关, 即土壤腐生真菌多样性越高的系统, 植物生产力的稳定性越高, 而植物真菌病原体多样性越高的系统, 植物生产力在时间尺度上越容易出现较大的波动, 这一现象在全球草地生态系统中尤为明显。在全球变暖更容易导致植物真菌病原体大爆发的背景下, 该研究成果为预测未来气候变化引起的真菌病原体的增长所导致的植物生产力的波动提供了重要理论支持。