

引用格式:

谭春燕, 杨文钰, 陈佳琴, 杨春杰, 朱星陶, 王凯. 山地环境下大豆耐荫种质资源的筛选[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 140-146.

TAN C Y, YANG W Y, CHEN J Q, YANG C J, ZHU X T, WANG K. Screening of shaded soybean germplasm resources under the mountain environment[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(2): 140-146.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



山地环境下大豆耐荫种质资源的筛选

谭春燕^{1,2}, 杨文钰¹, 陈佳琴², 杨春杰², 朱星陶^{2*}, 王凯³

(1.四川农业大学农学院, 四川 成都 611130; 2.贵州省农业科学院油料研究所, 贵州 贵阳 550006; 3.贵州理工学院经济管理学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要:以 30 份贵州大豆种质资源为材料, 采用玉米与大豆间作的方式, 对大豆的 10 个农艺性状及产量进行分析评价。结果表明: 间作复合系统中各小区玉米产量差异不显著, 30 份大豆的产量损失率差异显著; 在间作条件下, 参试材料的株高、茎粗、主茎节数、底荚高度、有效分枝数、单株粒数、单株荚数、单株粒质量、百粒质量、倒伏率等都存在一定的变异, 变异系数为 8.2%~62.0%, 说明参试大豆种质资源具有丰富的表型多样性; 灰色关联分析结果表明, 对间作大豆产量影响从大到小的性状依次为单株粒数、单株粒质量、有效荚数、有效分枝、百粒质量、茎粗、主茎节数、倒伏率、株高、底荚高度; 利用系统聚类法将 30 份大豆材料分为耐荫型、中间型和敏感型 3 大类, 各类群性状之间的差异较明显, 其中单株有效荚多、单株粒多、有效分枝多、百粒质量较小的第 I 类大豆材料耐荫性较强, 适宜在贵州山地环境下间作种植。

关键词:大豆; 玉米; 间作; 种质资源; 耐荫; 灰色关联分析; 聚类分析

中图分类号: S565.102.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)02-0140-07

Screening of shaded soybean germplasm resources under the mountain environment

TAN Chunyan^{1,2}, YANG Wenyu¹, CHEN Jiaqin², YANG Chunjie², ZHU Xingtao^{2*}, WANG Kai³

(1.College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China; 2.Institute of Oil Crops, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang, Guizhou 550006, China; 3.College of Economics and Management, Guizhou Institute of Technology, Guiyang, Guizhou 550003, China)

Abstract: In order to screen out optimal shade-tolerant soybean germplasm resources suitable for intercropping in mountainous environment, 30 soybean germplasm resources in Guizhou intercropped with maize-soybean were used in this study. The 10 agronomic characters and yield of the test materials under intercropping were collected and evaluated. The results showed that in the intercropping system, the yield of maize in each plot was not significantly different, while the yield loss of soybean was significantly lower than that of the net intercropping system. The inspection traits of the samples had some variation under intercropping conditions, and the variation coefficient is between 8.2% and 62.0%, indicating that the soybean germplasm resources have rich phenotype diversity. The grey correlation analysis showed that the traits affecting intercropping soybean yield were single grain number, effective pod number, stem length, weight of 100 grains, effective branch number, main stem node number, height of bottom pod, plant height and reflux rate. The 30

收稿日期: 2020-01-20

修回日期: 2020-06-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0101500); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-004-CES28); 贵州理工学院高层次人才科研启动经费项目(2018-13)

作者简介: 谭春燕(1986—), 女, 重庆丰都人, 博士, 助理研究员, 主要从事大豆栽培生理研究, fyqs_520@163.com; *通信作者, 朱星陶, 研究员, 主要从事大豆育种与栽培研究, 3503114553@qq.com

soybean materials could be grouped into three categories: the shade resistant group, the intermediate group and the sensitive groups. These groups showed obvious difference on the studied traits. Among them, the group owning many single plants, many branches, and moderate weight, is the optimal soybean material suitable for intercropping in mountain environment.

Keywords: soybean; maize; intercropping; germplasm resources; shade resistance; grey correlation analysis; cluster analysis

间作能集约利用水、肥、热、光等自然资源,降低病虫害危害^[1-3],有利于农业高产高效^[4-7]。当前,间(套)作已在许多国家及地区得到广泛应用^[8-11]。近年来,西南地区逐渐形成了以玉米-大豆带状间(套)作复合种植模式,对中国粮食增产和农民增收发挥了积极作用,对保持土壤肥力和农业可持续发展也产生了重要影响^[12-14]。而在玉米-大豆带状间作复合种植模式中,玉米作为高秆优势作物受到的影响不大,大豆作为低位矮秆作物,在对光、温、水、热等资源的竞争上处于劣势。要平衡系统内作物间的竞争作用,使得利益最大化,除了依靠栽培技术的支撑外,与大豆品种本身也息息相关。对于 60% 以上耕地都是山地的贵州来说,大豆种质资源丰富,栽培历史悠久,是西南山区春大豆与玉米带状间作栽培的主要地区,但生产上适宜间作的大豆品种较少,产量较低,影响整个间作系统的产量以及栽培模式的大范围推广应用;因此,选育适合间作的耐荫大豆品种,筛选耐荫种质,对提高复合种植系统的产量具有重要意义。

大豆是光温敏感作物,具有较强的生态适应性,长期的人工选择和自然选择条件使得大豆种质资源的耐荫性存在明显的地域性。本研究中,利用贵州弱光地区丰富的大豆种质资源,在玉米-大豆带状复合种植模式内,对其农艺性状进行研究,采用灰色关联度法分析影响间作大豆产量的主要性状因子,并在此基础上进行聚类分析,以筛选出贵州山地环境下适宜与玉米间作的大豆品种,为大豆耐荫育种提供种质资源。

1 材料与方 法

1.1 材料

供试玉米采用平展型品种黔单16号;大豆材料来源于贵州省地方品种和贵州省油料研究所自育品种或种质资源(表1)。

表 1 30 个参试大豆材料的基本信息

编号	材料名称	参考 生育期/d	编号	材料名称	参考 生育期/d
1	黔豆 08002	108	16	黔豆 2011-3	114
2	黔豆 2011-1	113	17	大方白水豆	123
3	黔豆 2011-20	106	18	黔豆 2011-21	119
4	遵义灰壳豆	95	19	黔豆 2011-6	122
5	黔豆 2011-5	102	20	黔豆 2011-7	110
6	黔豆 2011-14	99	21	黔豆 2011-18	115
7	黔豆 6 号	110	22	黔豆 2011-19	108
8	黔豆 2011-13	105	23	黔豆 2011-20	106
9	黔豆 7 号	116	24	黔豆 2011-22	106
10	黔豆 2011-27	120	25	黔豆 5 号	105
11	黔豆 2 号	110	26	黔豆 2011-26	109
12	黔豆 2011-23	109	27	遵义六月黄	102
13	黔豆 2011-24	112	28	黔豆 08014	113
14	大方绿兰豆	100	29	黔豆 2011-25	114
15	黔豆 2011-2	120	30	黔豆 8 号	116

1.2 方法

试验于2014—2016年在贵州省农业科学院试验基地进行。海拔高度1085 m, E106°39', N26°30', 生育期内4—8月的常年积温3149.3 °C, 降水777.2 mm, 日照655.8 h, 光合有效辐射(PAR)920.0 WJ/m²。

试验间作采用 2 行玉米间作 2 行大豆栽培模式,幅宽 2 m,小区行长 5 m,宽 5.2 m,小区面积为 26 m²,每个小区能完整排列 2 个间作带,即每小区共有 6 行玉米,4 行大豆。玉米间行距 0.6 m,大豆间行距 0.4 m,玉米与大豆之间行距为 0.5 m。4 月上、中旬玉米和 大豆同时播种,玉米穴播,双株留苗,株距 0.5 m;大豆条播,单株留苗,株距 0.08 m,每小区种植玉米 120 株、大豆 260 株。净作大豆栽培按照贵州省大豆区域试验相关标准执行。田间管理按照当地高产栽培技术标准进行。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 农艺性状的测定

在成熟期每小区连续选取30株大豆考种,测定株高、茎粗、主茎节数、底荚高度、有效分枝数、

单株粒数、单株荚数、单株粒质量、百粒质量等农艺性状指标。

1.3.2 田间倒伏率的计算

大豆成熟时收获前调查30个供试材料的田间倒伏率。倒伏率为每个大豆种植带倒伏株数与总株数的百分比。倒伏以植株主茎倾斜与地面的夹角小于45°为标准。

1.3.3 产量的测定

成熟后,各小区收获后测实际产量。取4行大豆中间的2行玉米测产,大豆取4行玉米中间的2行大豆进行测产。净作大豆每个小区测产时去掉边行边株,具体按照贵州省大豆品种区域试验测产标准进行测定。

间作大豆产量损失率为净作大豆产量与间作大豆的产量差与净作大豆产量的百分比。耐荫系数为间作大豆性状值与净作大豆性状值的比值。耐荫系数大于1,表示间作下性状值比净作增加;耐荫

系数小于1,表示间作下性状值比净作减小。

1.4 数据处理

各性状的数据取3年的平均值。采用Excel 2003处理原始数据;运用DPSV 7.05进行灰色关联度分析与聚类分析。

2 结果与分析

2.1 各试验小区大豆产量及其损失率

在玉米大豆间作系统中,玉米是优势作物。从表2可以看出,各试验小区的玉米产量差异不显著,说明大豆对玉米的产量影响不大。要提高间作复合系统的产值,主要在于选择耐荫的大豆品种,增加大豆产量,从而获得更高的复合产值。从间作大豆产量损失率结果来看,同一品种3年试验的间作大豆产量损失率差异不显著,说明年度间的气候差异并不能影响品种本身的耐荫性,品种是影响大豆间作产量的主要因子。

表2 各试验小区玉米与大豆的产量及间作大豆产量损失率

Table 2 Maize and soybean yield in each plot and yield loss rate of intercropping soybean

编号	产量/(kg·(667 m ²) ⁻¹)			间作大豆产量损失率/%			
	玉米	净作大豆	间作大豆	2014年	2015年	2016年	均值
1	349.7	161.5	96.1	40.52	40.48	40.51	40.50 sS
2	345.3	156.4	38.6	75.33	75.34	75.29	75.32 bB
3	342.3	137.3	74.6	45.62	45.67	45.65	45.65 rR
4	338.7	95.6	50.1	47.61	47.63	47.59	47.61 qQ
5	334.7	144.6	95.2	34.21	34.16	34.17	34.18 vV
6	331.7	117.3	78.2	33.3	33.44	33.18	33.31 wW
7	328.0	90.5	55	39.01	39.39	39.25	39.22 tT
8	321.7	94.5	58.7	37.83	37.87	37.87	37.86 uU
9	322.3	128.2	89.9	29.45	30.1	30.09	29.88 yY
10	322.0	118.4	40	66.18	66.23	66.21	66.21 hH
11	317.3	139.7	41.2	70.52	70.49	70.50	70.50 dD
12	329.0	115.2	60.9	47.12	47.12	47.16	47.13 qQ
13	322.7	151.7	56.9	62.39	62.56	62.56	62.50 kK
14	325.3	104.3	63.2	39.43	39.47	39.39	39.43 tT
15	338.3	103.4	33.6	67.50	67.48	67.56	67.51 gG
16	328.0	159.7	82.4	48.11	48.48	48.64	48.41 pP
17	351.3	124.3	54.2	56.54	56.35	56.33	56.41 nN
18	324.3	145.9	58.6	59.98	59.69	59.83	59.83 lL
19	327.0	130.8	53.8	58.94	58.89	58.77	58.87 mM
20	348.7	115.9	76.9	33.46	33.73	33.73	33.64 vwVW
21	331.0	117.9	56.2	52.13	52.37	52.44	52.31 oO
22	328.0	129.5	88.9	31.24	31.65	31.24	31.38 xX

表 2(续)

编号	产量/(kg·(667 m ²) ⁻¹)			间作大豆产量损失率/%			
	玉米	净作大豆	间作大豆	2014 年	2015 年	2016 年	均值
23	328.7	135.7	42.5	68.93	68.27	68.87	68.69 fF
24	331.7	135.5	36.9	72.96	72.49	72.84	72.76 cC
25	330.7	146.6	44.6	69.72	69.77	69.22	69.57 eE
26	348.7	134.3	30.2	77.42	77.24	77.90	77.52 aA
27	337.0	149.7	44.5	70.47	70.06	70.27	70.27 dD
28	334.7	150.3	109.4	27.21	27.13	27.24	27.19 zZ
29	326.0	220.4	78.9	64.19	64.23	64.20	64.21 iI
30	344.3	135.9	50.1	63.15	63.18	63.09	63.14 jJ

玉米编号为小区编号；大豆编号为大豆品种的编号。同列数据不同小写、大写字母分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著。

2.2 大豆主要农艺性状的变异分析

从表 3 可以看出，在所有测定性状中，株高、底荚高和主茎节数比净作增加(耐荫系数大于 1)，其余性状较净作减小(耐荫系数小于 1)，且各性状的变异较为丰富，其变异系数为 8.2%~62.0%。倒伏率的变异系数最大，为 62.0%；其后依次是单株粒数的变异系数(38.7%)和产量的变异系数(36.2%)；株高和主茎节数的变异系数较小，分别为 11.4%和 8.2%；茎粗和底荚高度的变异系数居中，分别为 23.0%和 23.8%。单株粒质量的变异系数为 35%，

分布范围为(5.8±2.0)g，在此范围内的大豆材料有 23 个，占有参试材料的 76.7%，单株粒质量小于 3.8 g 的材料占总数的 10.0%，单株粒质量大于 7.8 g 的材料占总数的 13.3%。从产量构成因子来看，有效荚数、单株粒数、百粒质量 3 个因子中，百粒质量的变异系数最低，为 17.2%，平均百粒质量为 14.5 g；单株粒数的变异系数最大(38.7%)，单株荚数的其次，为 35.5%，说明单株粒数和荚数对大豆产量的影响较大，生产上可以选用单株结荚多、粒数多的品种来提高间作大豆产量。

表 3 间作大豆主要的农艺性状

Table 3 Variation of main agronomic traits of intercropping soybean

项目	株高/cm	茎粗/cm	底荚高度/cm	主茎节数	有效分枝数	有效荚数	单株粒数	百粒质量/g	倒伏率/%	单株粒质量/g	产量/(kg·(667 m ²) ⁻¹)
平均值	59.2	4.8	13.9	12.1	2.0	22.8	41.0	14.5	29.1	5.8	61.3
最大值	74.1	7.2	21.5	14.3	3.5	44.3	85.3	23.1	67.3	11.1	109.4
最小值	45.9	2.8	9.0	9.2	0.8	10.9	19.3	9.2	7.3	2.8	30.2
极差	28.2	4.4	12.5	5.1	2.7	33.4	66.0	13.9	60.0	8.3	79.2
标准差	6.7	1.1	3.3	1.0	0.6	8.1	15.8	2.5	18.2	2.0	21.0
变异系数/%	11.4	23.0	23.8	8.2	30.2	35.5	38.7	17.2	62.0	35.0	36.2
耐荫系数平均值	1.16	0.71	1.12	1.02	0.69	0.65	0.64	0.97		0.63	0.47

2.3 间作大豆农艺性状对产量的影响

采用灰色关联分析法分析间作大豆主要农艺性状与产量之间的动态关系。从表 4 可以看出，单株粒数与单株产量的关联度最大，为 0.497 0。其他性状对间作大豆产量的关联大小顺序依次为单株

粒质量、有效荚数、有效分枝、百粒质量、茎粗、主茎节数、倒伏率、株高、底荚高度。可见，要提高间作大豆产量主要应增加间作大豆单株粒数和单株粒质量，保证稳定的有效荚数，可以选择百粒质量较大、分枝多和茎粗的品种。

表 4 大豆产量与主要农艺性状的关联系数

Table 4 Correlation coefficient between yield and other determination traits

性状	关联系数									
	株高	茎粗	底荚高度	主茎节数	有效分枝	有效荚数	单株粒数	百粒质量	倒伏率	单株粒质量
产量	0.351 9	0.391 4	0.326 6	0.373 8	0.401 1	0.459 9	0.497 0	0.399 5	0.355 4	0.495 0
	(9)	(6)	(10)	(7)	(4)	(3)	(1)	(5)	(8)	(2)

括号中的数字示关联系数的排序。

2.4 聚类分析

从表 4 可知,单株粒质量、有效荚数、有效分枝、百粒质量、主茎节数、茎粗的变化对间作大豆产量影响较大,株高、倒伏率、底荚高度等 3 个性状对间作大豆产量影响相对较小。用系统聚类分析法对原始数据进行标准化处理,选取欧氏距离之离差平方和法对这几个性状进行聚类分析,阈值在 10.89 处将参试 30 个大豆材料分为 3 大类,获得聚类分析树状图(图 1)及 3 个类群各性状的均值(表 5)。

第 I 类(耐荫型):包括黔豆 08014、黔豆 7 号、黔豆 2011-5、黔豆 2011-7、黔豆 2011-14、黔豆 2011-19 等 6 个材料;总体特性为株高适中、结荚高度低、茎较粗、主茎节数多、有效分枝多、单株结荚和单株粒数多、单株粒质量较大、产量高、百粒质量较小、倒伏率低。适宜在山地环境下间作种植。

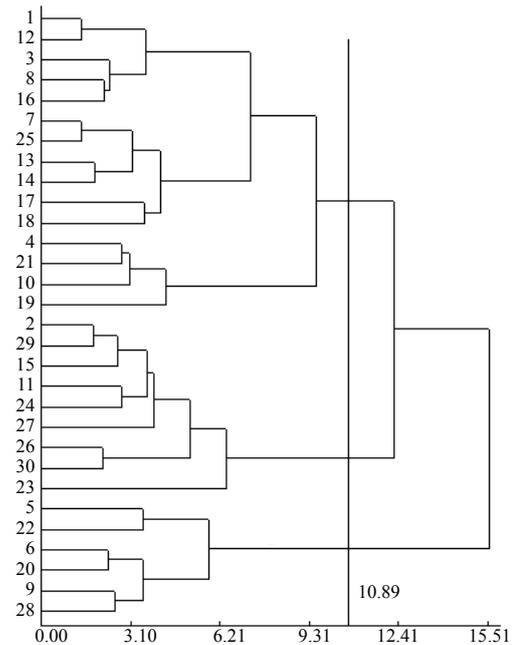


图 1 30 份大豆材料的聚类分析结果

Fig.1 Cluster analysis results of 30 soybean materials

表 5 参试材料各类群的特征

Table 5 The characters of test materials in each cluster

类群	株高/cm	茎粗/cm	底荚高度/cm	主茎节数	有效分枝数	有效荚数	单株粒数	百粒质量/g	倒伏率/%	单株粒质量/g	产量/(667 m^2) ⁻¹
I	58.1	5.1	11.9	12.8	2.3	35.5	65.4	13.5	15.7	8.9	89.8
II	54.4	4.4	12.3	11.3	1.8	21.3	38.8	16.3	41.3	6.1	60.4
III	62.7	5.0	15.7	12.4	2.0	19.5	34.2	13.6	25.5	4.5	44.1

第 II 类(中间型):包括黔豆 08002、黔豆 6 号、黔豆 2011-24 等 15 个材料;总体特性为株高较低、茎较细、结荚高度中等、主茎节数少、有效分枝少、单株结荚和单株粒数适中、百粒质量较大、倒伏率较高、产量居中。此类材料因倒伏率较大,生产上不宜直接利用。

第 III 类(敏感型):包括遵义六月黄、黔豆 8 号、黔豆 2 号等 9 个材料;总体特性为株高较高、茎粗中等、底荚高度较高、主茎节数较多、有效分枝数中等、单株结荚和单株粒数较少、百粒质量较小、倒伏率居中、产量较低。此类材料不适宜在山地环境下间作种植。

3 结论与讨论

植物对弱光的适应性体现在荫蔽环境下的生长能力,产量的形成是最终目的。研究^[15-17]表明,弱光下植株株高增加,茎粗减小,有效分枝减少,单株粒数、单株荚数和百粒质量减少。武晓玲等^[18]通过采用人为光照处理研究了 19 个大豆材料苗期

的 24 个形态性状、生物量及生理指标,应用主成分分析法、隶属函数法、聚类分析和逐步回归分析方法,将参试材料划分为强耐荫型、中度耐荫型和不耐荫型 3 类。赵银月等^[19-20]采用灰色关联度和系统聚类法对间作下 44 个大豆品种(系)的 10 个农艺性状及产量性状进行综合分析评价,筛选出影响间作大豆产量的性状主要有单株粒数、主茎节数、百粒质量等,并将参试品种分为 3 大类,适宜与玉米间作的大豆品种的单株荚多、单株粒多、分枝多、百粒质量适中。刘明等^[21]研究指出,间作大豆单株产量与茎粗、生育期呈极显著正相关,并筛选出 3 份适宜山东间作的高产、稳产的大豆品种。本研究采用灰色关联度法对影响间作大豆产量的相关性状进行分析的结果表明,单株粒数、单株粒质量、有效荚数、茎粗、百粒质量、有效分枝、主茎节数的变化对间作大豆产量影响较大,而株高、倒伏率、底荚高度对大豆产量影响较小;因此,在筛选适宜与玉米等高秆作物间作的大豆品种时应着重考虑单株粒数、有效荚数、百粒质量、有效分枝等几个性

状指标值。

当前大多数研究^[22-24]对作物的耐荫性进行评价都是在特定环境下进行,且采用人工遮荫的方式形成弱光胁迫或者是针对苗期进行。本研究针对贵州属于典型弱光地区这一特征,采用与玉米间作栽培的方式,利用玉米对大豆的遮荫形成田间自然弱光胁迫,相比其他光照强的地区,贵州栽培大豆生长在双重弱光胁迫下,因此要对贵州大豆的耐荫性进行评价,这也是本研究与以往研究的不同之处,筛选出的耐荫材料更贴合贵州生产实际。

本研究最终将参试材料划分为 3 个类群,适宜贵州间作种植的为第 I 类群,总体性状为有效分枝多、单株结荚和单株粒数多、单株产量高、百粒质量较小,其中 9 号(黔豆 7 号)和 28 号(黔豆 08014)是已经通过审定的品种,生产上可以采取合理田间布局和肥水调控等栽培措施加以利用,第 II 类群(中间型)中,7 号等材料间作产量损失率排位虽然靠前,但是其净作产量和间作产量均不高;第 III 类群(敏感型)中,29 号材料净作产量很高(排第 1 位),但间作产量的损失率较大,属于高产不耐荫型。这类材料生产上不建议选用,但可以作为杂交亲本间接利用,丰富大豆耐荫种质资源基因库。

由于大豆耐荫性比较复杂,本研究只针对间作大豆农艺性状表型进行了研究,其耐荫机理还需要作深入研究。

参考文献:

- [1] RÔÇAS G, SCARANO F R, BARROS C F. Leaf anatomical variation in *Alchornea triplinervia*(Spreng) Müll. Arg. (Euphorbiaceae) under distinct light and soil water regimes[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2001, 136(2): 231-238.
- [2] NAMATSHEVE T, CHIKOWO R, CORBEELS M, et al. Maize-cowpea intercropping as an ecological intensification option for low input systems in sub-humid Zimbabwe: productivity, biological N₂-fixation and grain mineral content[J]. Field Crops Research, 2021, 263: 108052.
- [3] BANIK P, MIDYA A, SARKAR B K, et al. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: advantages and weed smothering[J]. European Journal of Agronomy, 2006, 24(4): 325-332.
- [4] LI L, SUN J H, ZHANG F S, et al. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting[J]. Field Crops Research, 2001, 71(3): 173-181.
- [5] TSUBO M, WALKER S. A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 110(3): 203-215.
- [6] QADIR M, OSTER J D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture[J]. Science of the Total Environment, 2004, 323(1/2/3): 1-19.
- [7] HAGE-AHMED K, KRAMMER J, STEINKELLNER S. The intercropping partner affects arbuscular mycorrhizal fungi and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* interactions in tomato[J]. Mycorrhiza, 2013, 23(7): 543-550.
- [8] ZHANG F S, LI L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency[J]. Plant and Soil, 2003, 248(1/2): 305-312.
- [9] 赖振光, 韦剑锋, 蔡昭艳, 等. 甘蔗/大豆间作及地膜覆盖对大豆生长与产量及品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2016, 42(6): 587-591.
LAI Z G, WEI J F, CAI Z Y, et al. Effect of sugarcane-soybean intercropping and mulch on growth, yield and quality of soybean[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2016, 42(6): 587-591.
- [10] 刘子凡, 苏必孟, 黄洁, 等. 木薯花生间作模式养分吸收与利用优势的比较[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(5): 478-484.
LIU Z F, SU B M, HUANG J, et al. Advantage of nutrient absorption and utilization in cassava-peanut intercropping system[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2019, 45(5): 478-484.
- [11] 徐海强, 黄洁, 魏云霞, 等. 木薯与花生间作对产量和养分的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(6): 575-579.
XU H Q, HUANG J, WEI Y X, et al. Effects of cassava/peanut intercropping on their yield and nutrient[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2018, 44(6): 575-579.
- [12] 韦柳佳, 黄莉, 张雅琼, 等. 玉米/大豆间作模式及效应分析[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 67-72.
WEI L J, HUANG L, ZHANG Y Q, et al. Analysis on intercropped patterns and effect in maize/soybean intercropping system[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(1): 67-72.
- [13] 孟维伟, 王旭清, 刘佳, 等. 玉米大豆间作对资源利用及产量、效益影响的研究进展[J]. 山东农业科学, 2013, 45(3): 132-135.
MENG W W, WANG X Q, LIU J, et al. Research advances on resource utilization, yield and economic

- benefit in maize-soybean intercropping system[J]. Shandong Agricultural Sciences ,2013 ,45(3) :132-135 .
- [14] 吕越,吴普特,陈小莉,等.玉米/大豆间作系统的作物资源竞争[J].应用生态学报,2014,25(1):139-146. LÜ Y, WU P T, CHEN X L, et al. Resource competition in maize/soybean intercropping system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(1): 139-146.
- [15] 谢运河,李小红,王业建,等.玉米大豆间作行比对早熟春大豆农艺性状及产量的影响[J].湖南农业科学,2011(5):26-28. XIE Y H, LI X H, WANG Y J, et al. Influences of different intercropping row-ratios between maize and soybean on agronomic characters and yield of precocious spring soybean[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011(5): 26-28.
- [16] 刘洋,孙占祥,白伟,等.玉米大豆间作对辽西地区作物生长和产量的影响[J].大豆科学,2011,30(2):224-228. LIU Y, SUN Z X, BAI W, et al. Effect of maize and soybean interplanting on crops growth and yield in western Liaoning Province[J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 224-228.
- [17] 张正翼,龚万灼,杨文钰,等.套作模式下不同大豆品种(系)主要农艺性状与产量的关系[J].大豆科学,2007,26(5):680-686. ZHANG Z Y, GONG W Z, YANG W Y, et al. Correlation between agronomic characters and yield in relay-planting soybeans[J]. Soybean Science, 2007, 26(5): 680-686.
- [18] 武晓玲,梁海媛,杨峰,等.大豆苗期耐荫性综合评价及其鉴定指标的筛选[J].中国农业科学,2015,48(13):2497-2507. WU X L, LIANG H Y, YANG F, et al. Comprehensive evaluation and screening identification indexes of shade tolerance at seedling in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(13): 2497-2507.
- [19] 赵银月,黄国贤,詹和明,等.云南省适宜与玉米间作大豆品种的筛选与鉴定[J].大豆科学,2018,37(1):75-80. ZHAO Y Y, HUANG G X, ZHAN H M, et al. Screening and identification of soybean varieties suitable for intercropping with maize in Yunnan Province[J]. Soybean Science, 2018, 37(1): 75-80.
- [20] 赵银月,耿智德,保丽萍,等.云南省大豆地方品种资源的主成分分析及聚类分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2007,33(S1):120-122. ZHAO Y Y, GENG Z D, BAO L P, et al. Principal component analysis and cluster analysis of local soybean varieties of Yunnan[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2007, 33(S1): 120-122.
- [21] 刘明,卜伟召,杨文钰,等.山东间作大豆产量与主要农艺性状关联分析[J].中国油料作物学报,2018,40(3):344-351. LIU M, BU W Z, YANG W Y, et al. Correlation analysis of yield and agronomic traits of soybean for intercropping in Shandong[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(3): 344-351.
- [22] 丁爱萍,王瑞,张卓文.12种园林植物耐荫性鉴定指标的筛选[J].植物生理学通讯,2009,45(1):55-59. DING A P, WANG R, ZHANG Z W. Selection of shade-tolerance identification indices for 12 garden plant species[J]. Plant Physiology Communications, 2009, 45(1): 55-59.
- [23] 冯晓琳,何云核.3种野生观赏蕨类植物的耐荫性评价[J].中国园艺文摘,2015,31(8):4-6. FENG X L, HE Y H. The evaluation on the shade tolerance of three wild ornamental ferns[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2015, 31(8): 4-6.
- [24] 杨才琼,胡宝予,吴海军,等.黑豆种质苗期耐荫性评价及其根系对弱光胁迫的响应[J].中国生态农业学报,2017,25(6):893-902. YANG C Q, HU B Y, WU H J, et al. Evaluation for shade tolerance of black soybean germplasms and their root structure response to shade stress at seedling stage[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(6): 893-902.

责任编辑:毛友纯
英文编辑:柳正