

# 福建省农作物种质资源调查收集与多样性分析

林霜霜<sup>1</sup>, 陆佩兰<sup>2</sup>, 余文权<sup>3</sup>, 张海峰<sup>4</sup>, 赵杰樑<sup>2</sup>, 陈双龙<sup>2</sup>, 翁培铭<sup>1</sup>, 车建美<sup>4</sup>, 葛慈斌<sup>5</sup>

(<sup>1</sup>福建省农业科学院作物研究所, 福州 350013; <sup>2</sup>福建省种子总站, 福州 350003; <sup>3</sup>福建省农业科学院, 福州 350003;

<sup>4</sup>福建省农业科学院资源环境与土壤肥料研究所, 福州 350003; <sup>5</sup>福建省农业科学院数字农业研究所, 福州 350003)

**摘要:** 2017-2022年,福建省在第三次全国农作物种质资源普查与收集行动中,共收集作物地方品种和野生近缘植物种质资源6235份,蔬菜、粮食、果树、经济作物、牧草绿肥分别占33.57%、25.91%、24.35%、14.59%、1.57%;所有资源隶属于83科,229属,313种,其中豆科种质资源份数最多,占总数的16.04%。不同地区和海拔是影响收集农作物种质资源种类和数量的重要因素。全省9个地级市中,三明市收集种质资源数量最多,占20.65%。全省收集农作物种质资源数量随着海拔升高而下降,不同海拔收集数量随着市辖县(市、区)、乡(镇)、村(街道)的数量减少呈现减少趋势。沿海地区如漳州、福州、宁德、泉州、莆田、厦门等6个地级市,海拔0~200 m是种质资源Shannon-Wiener多样性指数和Brillouin丰富度指数最高的海拔区间;闽西北山区,如龙岩、三明、南平等3个地级市,海拔200~400 m、400~600 m、600~800 m种质资源的Shannon-Wiener多样性指数和Brillouin丰富度指数较高。不同地级市、不同海拔区间与收集种质资源的物种多样性指数的相关性分析发现,三明和龙岩市与Shannon-Wiener多样性指数呈极显著正相关,莆田和龙岩市与Pielou均匀度指数呈现极显著负相关,这与全省农业经济分区有密切关系。通过梳理全省农作物种质资源的多样性,为因地制宜地开发、利用、挖掘全省地方农作物种质资源提供参考和科学依据。

**关键词:** 福建;农作物;种质资源;调查;收集;多样性

## Survey, Collection and Diversity Analysis of Crop Germplasm Resources in Fujian Province, China

LIN Shuangshuang<sup>1</sup>, LU Peilan<sup>2</sup>, YU Wenquan<sup>3</sup>, ZHANG Haifeng<sup>4</sup>, ZHAO Jieliang<sup>2</sup>,  
CHEN Shuanglong<sup>2</sup>, WENG Peiming<sup>1</sup>, CHE Jianmei<sup>4</sup>, GE Cibin<sup>5</sup>

(<sup>1</sup>Crop Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013; <sup>2</sup>Fujian Provincial Seed General Station, Fuzhou 350003; <sup>3</sup>Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003; <sup>4</sup>Institute of Resources, Environment and Soil Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003; <sup>5</sup>Institute of Digital Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003)

**Abstract:** During the Third National Crop Germplasm Resource Survey and Collection Action in Fujian province from 2017 to 2022, total 6235 accessions of crop germplasm resources including local crop varieties and their wild relatives were collected. The numbers of vegetables, food grains, fruit trees, economic crops, and forage and green manure crops collected in this action accounted for 33.57%, 25.91%, 24.35%, 14.59%, and 1.57% respectively, and they belong to 83 families, 229 genera, and 313 species. Among these germplasm resources, 16.04% belong to the Leguminosae family with the highest percentage. Different regions and altitudes were relevant to the species types and quantities of crop germplasm resources collected. Among the 9

收稿日期: 2023-06-09 修回日期: 2023-09-06 网络出版日期: 2023-10-24

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230609001>

第一作者研究方向为作物种质资源调查与收集, E-mail: shuanglin604@163.com

通信作者: 余文权, 研究方向为农作物种质资源研究, E-mail: 825938828@qq.com

张海峰, 研究方向为作物种质资源研究, E-mail: 13600828002@126.com

**基金项目:** 第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(111821301354052031); 福建省农科院5511协同创新项目(XTCXGC2021019, XTCXGC2021019-ZYS05)

**Foundation projects:** The Third National Crop Germplasm Resources Survey and Collection Action (111821301354052031); 5511 Collaborative Innovation Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences(XTCXGC2021019, XTCXGC2021019-ZYS05)

prefecture level cities in the province, Sanming city had the highest number of germplasm resources, accounting for 20.65%. The number of crop germplasm resources decreased along with the increase of altitude. The number of collections at different altitude was correlated with the number of counties (cities, districts), townships (towns), and villages (streets). The Shannon-Wiener diversity index and Brillouin richness index were the highest at an altitude of 0-200 meters in the six prefecture level cities (Zhangzhou, Fuzhou, Ningde, Quanzhou, Putian, Xiamen) in coastal areas, while these two indexes are relatively high at the altitudes of 200-400 meters, 400-600 meters, and 600-800 meters in three mountainous areas, such as Longyan, Sanming, and Nanping, respectively. Through the correlation analyses of species diversity index in different prefecture level cities and altitude intervals, a highly significant positive correlation was detected between the Shannon-Wiener diversity index and Sanming and Longyan cities, while a highly significant negative correlation was detected between the Pielou evenness index and Putian and Longyan cities, which might be closely correlated to the agricultural economic zones in the province. Thus, by investigating the diversity of crop germplasm resources in Fujian province, this study provided reference and scientific basis for the development, utilization, and excavation of local crop germplasm resources to meet local demands.

**Key words:** Fujian; crop; germplasm resources; investigation; collection; diversity analysis

农作物种质资源是支撑农业科技原始创新和作物育种的物质基础,可为国家粮食、生态、种业安全提供保障,并与农业供给侧结构性改革密切相关<sup>[1]</sup>。福建省地处我国东南沿海,位于23°33'~28°19'N,115°50'~120°43'E之间,跨中、南亚热带,生物资源十分丰富,种类繁多。由于境内山地丘陵多,素有“八山一水一分田”之称,气候类型复杂,小气候环境特别突出,茶叶、果树的地方品种和野生种质资源丰富<sup>[2]</sup>。福建省历来重视农作物种质资源保护工作,全省参与了3次全国农作物种质资源普查与收集工作,20世纪50年代第一次普查总计征集到水稻、甘薯、大小麦、大豆、花生、油菜等7种作物的地方品种4600多份,并初步查明果树资源和食用菌资源<sup>[3]</sup>。70~80年代第二次普查,分别对水稻<sup>[4]</sup>、甘薯、大豆、油菜、花生、蔬菜<sup>[5]</sup>、果树、食用菌等农作物种质资源开展征集和收集工作,并补充征集包括野生稻、野生大豆、野生茶树、猕猴桃等的野生资源,其中福建多年生野生大豆的发现是国内首次记录<sup>[6]</sup>。至1990年,征集并保存水稻、甘薯、大小麦、大豆、花生、油菜、甘蔗、黄红麻、茶叶、果树、蔬菜等主要作物种质资源1.8万多份,建立了福建稻种资源数据库和国家龙眼、枇杷种质资源圃<sup>[3]</sup>,初步构建了全省种质资源保护体系。但随着气候、耕作制度和农业经营方式的变化,大量地方品种和作物野生近缘植物资源栖息地急剧减少,为更好了解种质资源家底,2017年福建省启动第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(以下简称“行动”),通过全面普查全省74个农业县(市、区)的农作物种质资源,

并选择22个重点农业县(市、区)开展抢救性调查收集,至2022年,全面完成了本省的普查和收集任务。本研究通过梳理此次普查收集的农作物种质资源的多样性,为因地制宜地开发、利用、挖掘全省地方农作物种质资源提供参考和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 征集与收集范围

本次农作物种质资源普查征集范围涵盖福建省9个地级市农业比重比较大、非城镇主城区的74个农业县(市、区)(表1)。在征集基础上,选择其中农作物种质资源比较丰富的22个县(市、区),进行系统调查并抢救性收集辖区内的农作物种质资源。每个农业县(市、区)征集与收集的乡镇不低于3个,每个乡镇征集与收集的行政村(街道)不低于3个。征集与收集对象为农作物的地方品种、野生近缘种及种植年代久远(20~30年以上)的各类作物的育成、引进品种。

### 1.2 普查与调查方法

根据《第三次全国农作物种质资源普查与收集行动》工作方案及《福建省农作物种质资源普查与收集行动实施方案》的相关规定,普查数据通过查阅各地方的地方志及文献,走访经验丰富的农业专家及工作者,收集辖区内各类作物的种植历史、栽培制度、品种更替、社会经济和环境变化,以及重要作物的野生近缘植物种类、地理分布、生态环境和濒危状况等信息。每个普查县征集种质资源20~30份,每个调查县收集农作物种质资源80~100份,并

分别填写“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动征集表”和“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动调查表”,表格记录征集与收集的各类农作物种质资源的特征特性、农艺性状、地理分布、历史演变、栽培方式、利用价值、濒危状况和保护利

用情况等重要信息,每份资源详细记录采集编号、种质名称、采集时间、地点、经纬度、农民认知、种植栽培方式、前后茬作物及生境相关的土壤与生态信息,并采用单反相机拍摄种质资源的生境、表型、利用方式。

表1 福建74个普查县与22个调查县(市、区)

Table 1 74 survey counties and 22 investigation counties (cities and districts) in Fujian

序号 No.	三明市 Sanming city	漳州市 Zhangzhou city	南平市 Nanping city	福州市 Fuzhou city	宁德市 Ningde city	泉州市 Quanzhou city	龙岩市 Longyan city	莆田市 Putian city	厦门市 Xiamen city
1	建宁县*	龙海区*	武夷山市*	永泰县*	蕉城区*	安溪县*	武平县*	秀屿区	同安区
2	三元区*	诏安县*	建瓯市*	罗源县*	周宁县*	德化县	漳平市*	涵江区	翔安区
3	尤溪县*	南靖县*	邵武市*	闽侯县*	屏南县*	南安市	连城县	仙游县	
4	明溪县*	平和县*	松溪县	平潭综合实验区	寿宁县	泉港区	永定区	荔城区	
5	宁化县*	漳浦县*	光泽县	长乐区	福安市	晋江市	长汀县	城厢区	
6	将乐县	长泰区	浦城县	福清市	福鼎市	永春县	新罗区		
7	泰宁县	芗城区	政和县	晋安区	柘荣县	惠安县	上杭县		
8	梅列区	龙文区	建阳区	连江县	古田县	洛江区			
9	沙县区	华安县	延平区	闽清县	霞浦县	石狮市			
10	永安市	云霄县	顺昌县						
11	大田县	东山县							
12	清流县								

\*:表示22个调查县(市、区)

\*:Indicates 22 investigation counties (cities, districts)

### 1.3 物种多样性指数

全省普查与调查发现,不同海拔、不同地区在农作物种质资源分布中起着重要作用,针对地区、海拔高度等影响因素分析农作物种质资源物种多样性规律,其中地区按照全省9个地级市划分,海拔按0~200 m、200~400 m、400~600 m、600~800 m、800~1000 m、1000 m以上6个梯度划分。对不同地级市和海拔收集的农作物种质资源的种类和数量进行种质资源样品群落丰富度和多样性分析,包括Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Simpson优势度指数( $D$ )、Brillouin多样性指数( $H$ )、Pielou均匀度指数( $E_H$ )<sup>[7-8]</sup>。

Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )计算公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中 $P_i$ 为不同种的种质资源占该地区所有种质资源物种的频次, $P_i = N_i/N$ , $N_i$ 是物种*i*的数量, $N$ 表示在第*i*个环境中物种的总数。

Simpson优势度指数( $D$ )计算公式为:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i / N)^2$$

Brillouin丰富性指数( $H$ )计算公式为:

$$H = \frac{1}{N} \left\{ \log_2 N! - \sum_{i=1}^S \log_2 N_i! \right\}$$

Pielou均匀度指数( $E_H$ )计算公式为:

$$E_H = \frac{H'}{\ln S}$$

式中 $S$ 为所有表示一个特定区域中的植物物种数量。

### 1.4 数据处理

作物科、属、种分类参考在线网站植物智(2023版)(<http://www.iplant.cn/>),数据处理考虑样本数量及收集样本在全省的代表性,不同地区和海拔种质资源科水平的分布、农作物收集数量在不同海拔上的相关性分析,采用9个地级市和不同海拔农作物种质资源数量大于50份的22个科的数据。运用Excel分类和整理数据,利用SPSS 19.0软件计算物种多样性指数,使用Origin2021版软件进行Pearson

相关性分析和制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 福建农作物种质资源收集概况

全省实施“行动”期间,共收集种质资源 6235 份,按种质资源类型可分为地方品种、野生资源、选育品种、引进品种和外省品种,其中地方品种资源最多,共 5024 份,占总数的 80.58%;其次分别为野生资源 883 份,选育品种 247 份,引进品种 32 份,外省(含台湾地区)品种 49 份,占比分别为 14.16%、3.96%、0.51%、0.79%(图 1)。

由表 2 可知,收集到的 6235 份资源隶属于 83 个科,229 个属,313 个种。83 个科中,粮食作物的豆科、禾本科和经济作物的山茶科、蔬菜作物的葫芦科等 4 科种质资源份数高于其他科作物,分别占总数的 16.04%、10.12%、9.48%、8.69%。其中豆科包含 19 个属 26 个种 1000 份资源,豆科中以大豆(23.5%)、豇豆(14.7%)、菜豆(9.10%)、扁豆(7.90%)为主;禾本科包含 25 个属 32 个种 631 份资源,以水稻为主,数量达到 456 份,占比 72.27%。同时禾本科还包括全省曾经的主粮作物大麦和小麦、高粱,但份数都远低于水稻;甘蔗作为全省曾经重要的糖

料作物由于产业迁移,本次只收集到 25 份种质资源。山茶科资源份数为 591 份,包含茶树和油茶 2 个种,以茶树(98.65%)为主。葫芦科作物以南瓜、丝瓜、冬瓜等蔬菜作物为主,包含 12 个属 22 个种 542 份资源。旋花科在本省的种质资源主要为蕹菜和甘薯,以甘薯(237 份,占比 80.89%)为主。

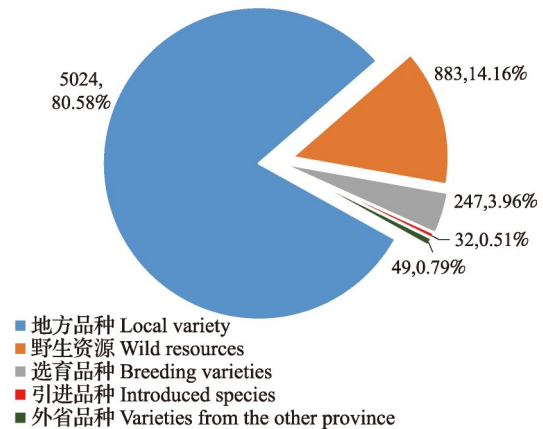


图 1 福建省第三次全国农作物种质资源普查与收集行动种质资源类型

Fig.1 The germplasm resources types found by the Third National Crop Germplasm Resources Survey and Collection Action in Fujian province

表 2 福建省普查与调查农作物种质资源的种类及数量

Table 2 The specie and quantity of crop germplasm resources in Fujian province

序号 No.	科 Family	属 Genus	种 Species	份数 Number	比例(%) Proportion	序号 No.	科 Family	属 Genus	种 Species	份数 Number	比例(%) Proportion
1	豆科	19	26	1000	16.04	17	姜科	4	4	95	1.52
2	禾本科	25	32	631	10.12	18	柿科	1	1	90	1.44
3	山茶科	1	2	591	9.48	19	菊科	13	18	82	1.32
4	葫芦科	12	22	542	8.69	20	桃金娘科	4	5	69	1.11
5	旋花科	3	3	293	4.70	21	锦葵科	5	7	53	0.85
6	蔷薇科	12	20	282	4.52	22	满江红科	1	1	51	0.82
7	十字花科	4	12	252	4.04	23	杨梅科	1	1	48	0.77
8	无患子科	3	3	218	3.50	24	猕猴桃科	1	1	48	0.77
9	芭蕉科	1	4	212	3.40	25	胡麻科	1	1	45	0.72
10	芸香科	4	12	194	3.11	26	伞形科	5	5	40	0.64
11	石蒜科	1	6	189	3.03	27	唇形科	8	8	34	0.55
12	茄科	5	6	189	3.03	28	大戟科	3	3	31	0.50
13	天南星科	3	3	177	2.84	29	漆树科	4	4	30	0.48
14	薯蓣科	1	6	135	2.17	30	阿福花科	1	1	28	0.45
15	苋科	6	8	111	1.78	31	叶下珠科	3	3	26	0.42
16	壳斗科	2	4	97	1.56	32	桑科	4	6	26	0.42

表2(续)

序号 No.	科 Family	属 Genus	种 Species	份数 Number	比例(%) Proportion	序号 No.	科 Family	属 Genus	种 Species	份数 Number	比例(%) Proportion
33	鼠李科	2	2	25	0.40	59	天门冬科	3	3	3	0.05
34	橄榄科	1	1	25	0.40	60	蓼科	2	2	3	0.05
35	美人蕉科	1	1	22	0.35	61	椴树科	1	1	3	0.05
36	仙人掌科	2	2	19	0.30	62	竹芋科	1	1	2	0.03
37	葡萄科	3	3	19	0.30	63	泽泻科	2	2	2	0.03
38	木通科	2	4	19	0.30	64	银杏科	1	1	2	0.03
39	荨麻科	2	2	18	0.29	65	茜草科	2	2	2	0.03
40	酢浆草科	1	1	17	0.27	66	胡颓子科	1	1	2	0.03
41	五味子科	2	3	15	0.24	67	紫草科	1	1	1	0.02
42	睡莲科	1	1	14	0.22	68	玄参科	1	1	1	0.02
43	马齿苋科	2	2	12	0.19	69	香蒲科	1	1	1	0.02
44	番木瓜科	1	1	10	0.16	70	五列木科	1	1	1	0.02
45	番荔枝科	2	3	9	0.14	71	五加科	1	1	1	0.02
46	车前科	1	1	8	0.13	72	商陆科	1	1	1	0.02
47	落葵科	1	1	7	0.11	73	山榄科	1	1	1	0.02
48	山茱萸科	1	1	6	0.10	74	三尖杉科	1	1	1	0.02
49	西番莲科	1	2	5	0.08	75	忍冬科	1	1	1	0.02
50	莎草科	3	3	5	0.08	76	木棉科	1	1	1	0.02
51	秋海棠科	1	1	5	0.08	77	马鞭草科	1	1	1	0.02
52	凤梨科	1	1	5	0.08	78	柳叶菜科	1	1	1	0.02
53	百合科	1	1	5	0.08	79	景天科	1	1	1	0.02
54	石榴科	1	1	4	0.06	80	红豆杉科	1	1	1	0.02
55	三白草科	1	1	4	0.06	81	杜英科	1	1	1	0.02
56	胡桃科	1	1	4	0.06	82	杜鹃花科	1	1	1	0.02
57	报春花科	2	3	4	0.06	83	安息香科	1	1	1	0.02
58	败酱科	1	2	4	0.06	合计 Total		229	313	6235	100

## 2.2 福建省收集农作物种质资源分布情况

对此次行动收集的6235份种质资源的所属作物类型和地级市进行分析,结果见表3。

按作物类型划分,除6份药用植物,其余6229份种质资源分别为蔬菜2091份、粮食作物1614份、果树1517份、经济作物909份、牧草绿肥98份,占比分别为33.57%、25.91%、24.35%、14.59%、1.57%。蔬菜是福建省大宗农副产品之一,是福建省乡村振兴的优势特色产业,在本次收集的种质资源中,蔬菜地方种质资源数量最多,占比最大,与蔬菜产值居省内各类农作物之首呈对应关系。

按行政区划分,6229份种质资源中,三明市1286

份、漳州市1067份、福州市884份、宁德市860份、南平市839份、龙岩市565份、泉州市467份、莆田市183份、厦门市78份,占比分别为20.65%、17.13%、14.19%、13.81%、13.47%、9.07%、7.50%、2.94%、1.25%。其中,三明市收集到的蔬菜、粮食作物种质资源数量最多,分别为531份和382份。南平市收集的经济作物数量最多,辖区内武夷山、邵武等地收集的茶树种质资源份数较多。本次收集到的牧草绿肥作物主要在福州、三明、南平、宁德、龙岩等地,牧草分布比较零散,主要分布于大型养殖场,以闽北较多,绿肥资源主要分布于全省的果园、茶园,水田绿肥(如红萍)主要分布于闽北地区水田。

表3 福建省农作物种质资源收集情况

Table3 Collection statistics of crop germplasm resources in Fujian province

作物类型 Crop types	三明市 Sanming city	漳州市 Zhangzhou city	福州市 Fuzhou city	宁德市 Ningde city	南平市 Nanping city	龙岩市 Longyan city	泉州市 Quanzhou city	莆田市 Putian city	厦门市 Xiamen city	总计 Total	比例(%) Percentage
蔬菜 Vegetables	531	328	309	263	218	225	151	31	35	2091	33.57
粮食作物 Grain crops	382	151	227	242	255	156	142	43	16	1614	25.91
果树 Fruiters	207	465	235	168	164	108	65	87	18	1517	24.35
经济作物 Cash crops	149	123	73	175	185	65	109	21	9	909	14.59
牧草绿肥 Forage green manures	17	0	40	12	17	11	0	1	0	98	1.57
总计 Total	1286	1067	884	860	839	565	467	183	78	6229	100.00
比例(%)Percentage	20.65	17.13	14.19	13.81	13.47	9.07	7.50	2.94	1.25	100.00	-

选取9个地级市农作物种质资源数量大于50份的22个科进行分析,22个科包含的种质资源数量差异较大(图2)。豆科作物在莆田市(24.67%)、三明市(24.56%)、龙岩市(20.33%)、宁德市(20.05%)、福州市(18.98%)等市的占比均较多。禾本科作物在南平市(20.39%)、泉州市(19.10%)等市的比例高于其余科,并以南平市收集到的禾本科作物(157份)数量为最多,水稻是南平市收集的主要粮食作物,占比达83.44%。山茶科作物在南平市(19.61%)、泉州市(18.40%)、宁德市(18.14%)等市占比较高,南平市和泉州市分别有省内重要产茶县(市)武夷山和安溪,这两个地区

茶树地方品种丰富;宁德市的周宁和蕉城所在的鹞峰山脉不仅有丰富的茶树地方品种,同时还有数量较多的野生或半野生茶种质资源。以南瓜、丝瓜为代表的葫芦科蔬菜(153份)在三明市收集数量较多,这与第二次普查蔬菜调查中三明地区较喜好南瓜作为蔬菜的结论相似。十字花科在厦门市、泉州市占比较高,分别为15.07%和8.02%。以甘薯为主要种质资源的旋花科在厦门市(10.96%)、漳州市(8.41%)、莆田市(7.33%)、福州市(6.24%)、泉州市(6.13%)等沿海地区市收集到的种质资源比例高于内陆的三明(5.42%)、龙岩(4.67%)、南平(1.69%)等市。

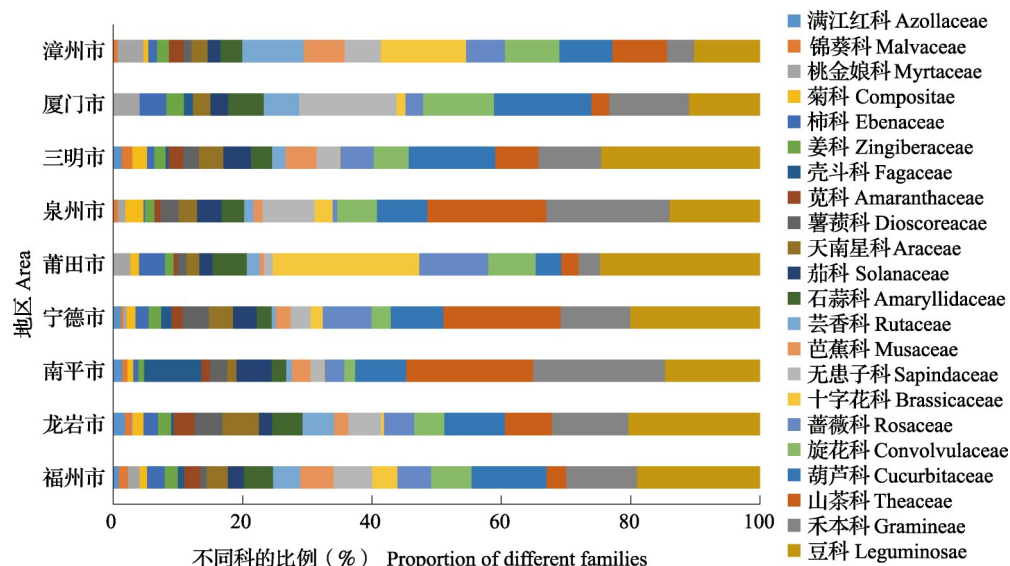


图2 不同地区种质资源在科水平上的分布

Fig. 2 Distribution of germplasm resources at the family level in different regions

### 2.3 海拔因子驱动的农作物种质资源多样性

**2.3.1 不同海拔梯度农作物种质资源的分布** 收集的农作物种质资源分布在海拔0~1368 m, 6235份资源数量总体呈现随着海拔升高而下降的趋势(图3), 其中分布在海拔0~200 m范围内资源数量最多, 共2101份, 占比33.70%; 分布在海拔200~400 m、400~600 m、600~800 m、800~1000 m、1000 m以上范围内的资源依次为1632份、850份、963份、460份、229份, 占比分别为26.17%、13.63%、15.45%、7.38%、3.67%, 不同海拔收集的资源数量随着市所辖县(市、区)、乡(镇)、村数量减少而呈现减少趋势。

**2.3.2 海拔对全省农作物种质资源所属科的影响** 在所有收集到的83个科的作物中, 有24个科的作物在6个海拔梯度均有分布, 分别是豆科、禾本科、葫芦科、旋花科、十字花科、石蒜科、芭蕉科、蔷薇科、天南星科、茄科、姜科、苋科、山茶科、杨梅科、菊科、柿科、伞形科、荨麻科、满江红科、壳斗科、唇形科、美人蕉科、五味子科、猕猴桃科。

选取科内种质资源数量大于50份的科, 对不同海拔梯度上资源数量前10的科及主要种进行分析。从图4、表4中可以看出, 豆科、禾本科、葫芦科这3个科的作物数量在6个海拔梯度中均在前四位, 其中豆科作物在海拔0~1000 m广泛分布, 豆科作物在本省种类多样, 有大豆、菜豆、豇豆、扁豆、利马豆、饭豆等粮食作物, 落花生等经济作物, 多花菜豆等蔬菜作物, 是本省收集农作物数量最多的一个科。无患子科、山茶科和芸香科等科的作物数量受海拔影响较大, 其中数量变化最明显的是无患子科, 该科主要以龙眼、荔枝、红毛丹等热带或亚热带农作

物为主, 收集海拔主要集中于0~200 m, 当海拔上升时, 收集到的数量呈明显降低的趋势。柚、柑橘、黄皮等芸香科柑橘属是全省主要果树作物, 具有较高经济效益, 其资源收集范围主要在海拔0~200 m, 随着海拔升高, 以枇杷、沙梨、桃、中国李、梅为主的蔷薇科果树逐渐取代芸香科, 成为200~800 m范围内主要收集果树资源, 到了1000 m以上, 较为耐冷的猕猴桃和黑老虎等野生果树资源取代蔷薇科成为主要果树收集资源。

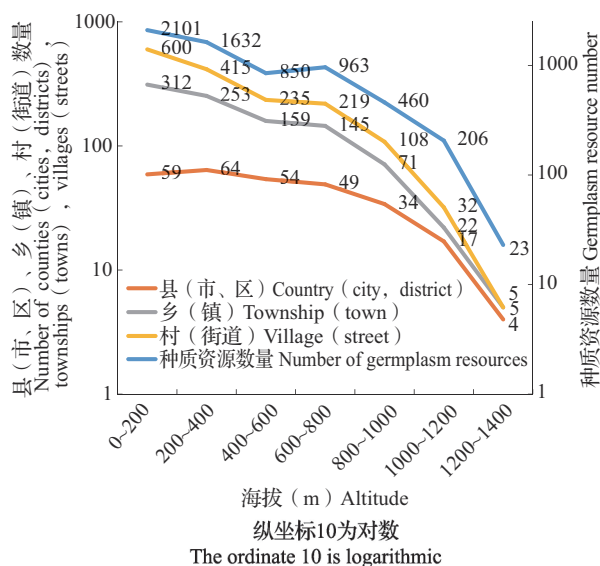


图3 不同海拔梯度的市所辖县(市、区)、乡(镇)、村(街道)、种质资源数量分布

Fig. 3 The distribution of counties (cities, districts), townships (towns), villages (streets) under the municipal administration and germplasm resources at different altitude

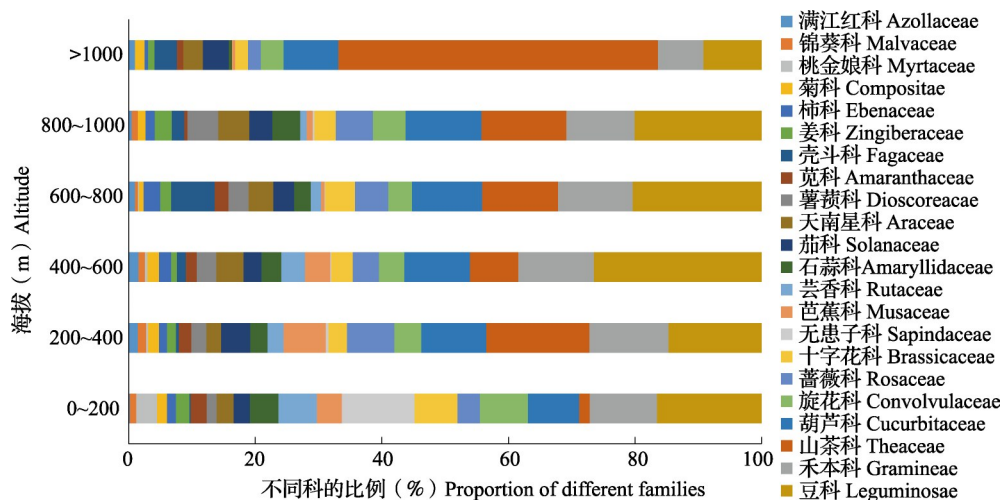


图4 不同海拔梯度农作物在科水平上的分布

Fig. 4 The distribution of crops at the family level at different altitude classifications

表4 不同海拔梯度资源数量前10的科及主要代表种类

Table 4 The top 10 families and main representative species with different altitudinal gradient

海拔(m) Altitude	资源数量 前10的科 Top 10 families in germplasm resources number	主要代表种类 Mainly representative species	海拔(m) Altitude	资源数量 前10的科 Top 10 families in germplasm resources number	主要代表种类 Mainly representative species
0~200	豆科	大豆、落花生、豇豆、菜豆、 豌豆、野生大豆	600~800	豆科	大豆、豇豆、扁豆、饭豆、 利马豆、小豆、菜豆
	无患子科	龙眼、荔枝、红毛丹		山茶科	茶树、油茶
	禾本科	稻、甘蔗、玉米、高粱、大麦、稷		禾本科	稻、玉米、薏苡、高粱、粟、茭白、画眉草
	葫芦科	丝瓜、中国南瓜、葫芦、黄瓜、冬瓜、苦瓜		葫芦科	中国南瓜、葫芦、丝瓜、佛手瓜、黄瓜、苦瓜
	旋花科	甘薯、蕹菜		壳斗科	锥栗、板栗
	十字花科	芥菜、白菜、萝卜、花椰菜、油菜、普通白菜		蔷薇科	沙梨、桃、中国李、杏、麻梨、豆梨
	芸香科	柚、柑橘、黄皮、枳椇、柠檬、酸橙		十字花科	芥菜、油菜、不结球白菜、萝卜、芥、甘蓝
	石蒜科	葱、大蒜、韭、蒜头、洋葱		天南星科	芋、魔芋
	芭蕉科	香蕉、阿宽蕉、大蕉、芭蕉		旋花科	甘薯、蕹菜、马蹄金
	蔷薇科	枇杷、沙梨、桃、中国李、梅、山莓		茄科	马铃薯、茄、辣椒、烟草、枸杞
200~400	山茶科	茶树、油茶	800~1000	豆科	大豆、菜豆、豇豆、扁豆、利马豆、饭豆
	豆科	大豆、豇豆、落花生、扁豆、利马豆、菜豆		山茶科	茶树、油茶
	禾本科	稻、薏苡、甘蔗、玉米、 粟、高粱		葫芦科	中国南瓜、葫芦、丝瓜、 佛手瓜、冬瓜、黄瓜
	葫芦科	中国南瓜、丝瓜、冬瓜、葫芦、黄瓜、佛手瓜		禾本科	稻、高粱、玉米、粟
	蔷薇科	沙梨、枇杷、桃、梅、中国李、豆梨		蔷薇科	沙梨、桃、中国李
	芭蕉科	阿宽蕉、芭蕉、香蕉、大蕉		旋花科	甘薯
	茄科	辣椒、马铃薯、茄、烟草、番茄、枸杞		天南星科	芋、魔芋
	旋花科	甘薯、蕹菜		薯蓣科	参薯、薯蓣、褐苞薯蓣、山薯、黄独
	十字花科	芥菜、不结球白菜、萝卜、芥、 油菜、茼蒿、甘蓝		石蒜科	大蒜、葱、韭、蒜头
	石蒜科	大蒜、葱、韭、蒜头、薤白		茄科	马铃薯、茄、辣椒、烟草、番茄
400~600	豆科	大豆、豇豆、菜豆、扁豆、落花生、饭豆	> 1000	山茶科	茶树
	禾本科	稻、薏苡、高粱、玉米、甘蔗、粟		豆科	饭豆、豇豆、菜豆、大豆
	葫芦科	中国南瓜、丝瓜、葫芦、佛手瓜、 冬瓜、有棱丝瓜		葫芦科	中国南瓜、丝瓜、葫芦、黄瓜、 佛手瓜
	山茶科	茶树		禾本科	稻、小麦、鹅观草
	天南星科	芋、魔芋、紫萁		茄科	马铃薯、茄、辣椒
	蔷薇科	沙梨、中国李、枇杷、台湾林檎、樱桃		猕猴桃科	中华猕猴桃
	旋花科	甘薯、蕹菜		旋花科	甘薯
	芭蕉科	阿宽蕉、香蕉、芭蕉、大蕉		壳斗科	板栗、锥栗
	芸香科	柚、柑橘、金柑、花椒、枳椇、柠檬		天南星科	芋、魔芋
	十字花科	芥菜、萝卜、大白菜、茼蒿、 芥、不结球白菜		五味子科	黑老虎、南五味子

山茶科收集到茶树和油茶2类作物,并以茶树为主要农作物,多收集自200~400 m和600~800 m。以板栗和锥栗为主的壳斗科收集份数最多的海拔在600~800 m,主要来自于南平建瓯这一全省锥栗

栽培集中中心。

**2.3.3 海拔因子与农作物种质资源物种多样性的相关性分析** 分析22个科农作物收集数量之间的相关性(图5),结果表明,除山茶科、壳斗科、满江红



等3个科外,豆科、禾本科、葫芦科等19个科之间呈显著或极显著正相关,表明这些科种质资源的分布规律较一致,收集数量随着海拔升高而逐渐降低,而山茶科、壳斗科、满江红科等3个科种质资源在不

同海拔分布不均,与其他19个科呈负相关。不同科之间呈极显著正相关最多的科为旋花科和苋科,其中旋花科与7个、苋科与6个科作物呈极显著正相关。

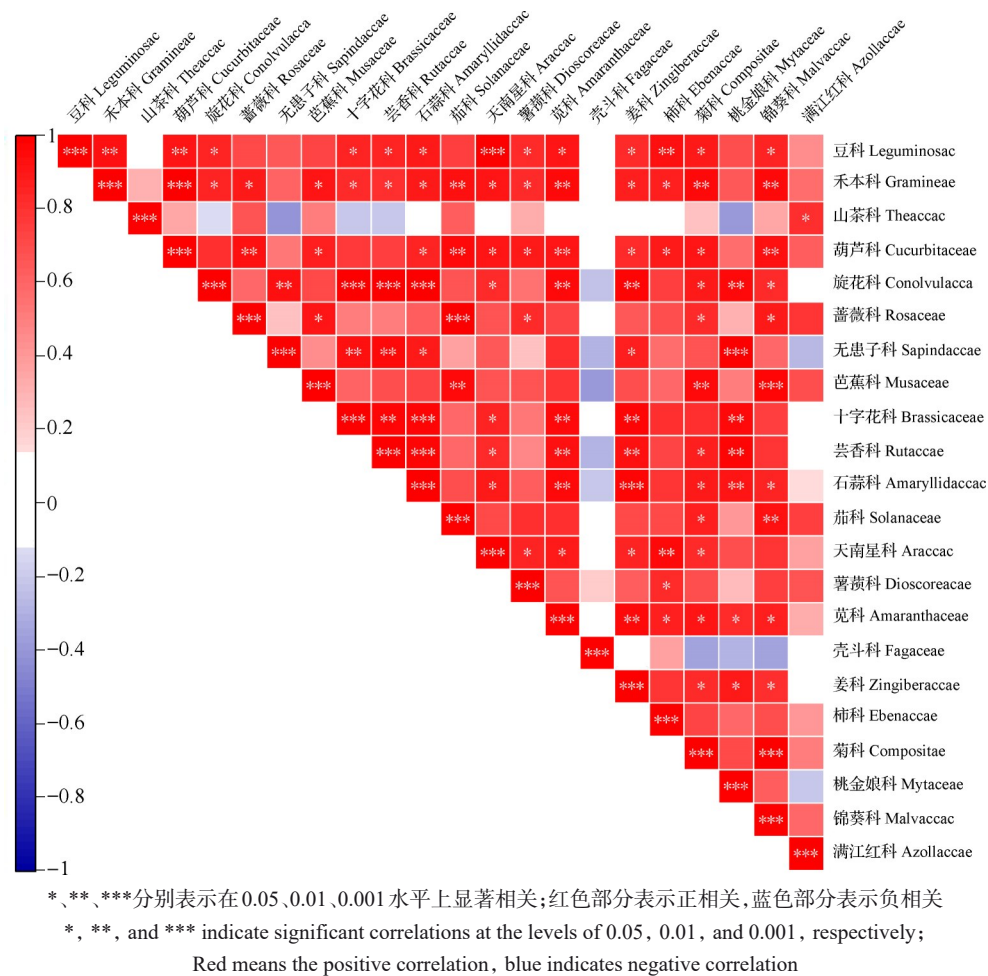


图5 22个科的农作物种质资源在不同海拔区间的相关性分析

Fig.5 Correlation analysis of crop germplasm resources from 22 families at different altitudes

#### 2.4 海拔、地区与农作物种质资源物种多样性的相关性分析

结合不同地级市、不同海拔区间分析全省农作物种质资源的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Brillouin 丰富度指数(表5),结果表明这两个指数变化规律相似,整体趋势为随着海拔升高,指数值逐渐降低。三明、宁德、龙岩等山区的平均多样性指数高于福建四大平原所在的福州、莆田、泉州、漳州等地。不同海拔的多样性差异也较大,作为农田生态系统,海拔0~200 m是沿海地区漳州、福州、宁德、泉州、莆田、厦门等6个地级市种质资源 Shannon-Wiener 多样性指数和 Brillouin 丰富度指数最高的海拔区间;海拔200~400 m、400~600 m、600~800 m是闽西北山区如龙岩、三明、南平地区等3个地级市种

质资源 Shannon-Wiener 多样性指数和 Brillouin 丰富度指数较高的海拔区间。漳州在200~400 m、400~600 m,福州在200~400 m、400~600 m、600~800 m、800~1000 m等海拔区间的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Brillouin 丰富度指数高于同为沿海地区同海拔的莆田、泉州、厦门等地。另外,在海拔600 m以上宁德市的农作物种质资源 Shannon-Wiener 多样性指数和 Brillouin 丰富度指数均较高。

Simpson 优势度指数反映了不同海拔区间物种群落的集中程度,数值越大,种类在区域的分布越集中,优势群落越明显。在海拔0~200 m, Simpson 优势度指数与 Shannon-Wiener 多样性指数具有相同的趋势,福州、宁德、泉州、厦门等沿海地区的 Simpson 优势度指数高于三明、南平、龙岩等山区。

Pielou 均匀度指数体现了物种的分布均匀性,除收集样本量较小的厦门市,在海拔 0~200 m,漳州市、福州市、南平市、泉州市和莆田市的 Pielou 均匀度指数较低。漳州市、龙岩市、莆田市和福州市在海拔

200~400 m、400~600 m 以及宁德市、龙岩市、泉州市、厦门市在海拔 600~800 m、800~1000 m 的 Pielou 均匀度指数普遍较高,说明这些地区的农作物种质资源在上述海拔区间收集的种类和数量较均匀。

表 5 9 个地级市不同海拔梯度的物种多样性比较

Table 5 Comparison of diversity at different altitude levels in 9 prefectural cities

多样性指数 Diversity index	海拔(m) Altitude	三明市 Sanming city	漳州市 Zhangzhou city	福州市 Fuzhou city	宁德市 Ningde city	南平市 Nanping city	龙岩市 Longyan city	泉州市 Quanzhou city	莆田市 Putian city	厦门市 Xiamen city
Shannon-Wiener 多样性指数 $H'$	0~200	2.4733	3.1118	3.0969	3.1167	2.6058	2.2475	2.8609	2.5732	2.4491
	200~400	2.9254	2.6905	2.7322	1.9056	2.6098	3.2053	1.4008	1.9796	1.7479
	400~600	2.7526	2.6987	2.8984	2.1034	2.3488	2.8900	1.6682	1.3863	0
	600~800	2.8145	1.7012	2.6415	2.7773	1.5726	2.7305	1.9094	0.5623	2.2048
	800~1000	2.7927	1.8393	2.4056	2.6464	2.1331	2.4133	1.5596	0	1.4735
> 1000	2.1665	1.2730	0	2.6271	1.1180	0.6365	0	0	0	
Brillouin 丰富性指数 $H$	0~200	4.1821	7.5317	7.0592	6.5041	4.7835	3.6865	6.3227	5.3467	3.9178
	200~400	6.1166	5.8285	4.8653	3.4595	5.6537	7.5530	2.3784	3.1138	2.5695
	400~600	6.4143	4.9049	5.7215	3.7935	4.0910	6.5516	2.2735	2.1640	0
	600~800	6.5888	3.8919	5.0677	5.5325	3.3418	5.1370	2.5115	0.7213	3.5088
	800~1000	6.6059	2.7291	3.6996	4.7274	3.0010	3.9013	1.9236	0	2.0121
> 1000	2.9697	1.3654	0	5.4308	2.7091	0.9102	0	0	0	
Simpson 优势度指数 $D$	0~200	0.8997	0.9351	0.9356	0.9471	0.9030	0.8770	0.9131	0.8803	0.9092
	200~400	0.9184	0.8890	0.9216	0.7272	0.8819	0.9459	0.5875	0.8497	0.9524
	400~600	0.8723	0.9258	0.9387	0.8211	0.8611	0.9101	0.8242	1	0
	600~800	0.9033	0.6461	0.9002	0.9095	0.6175	0.9151	0.8317	0.5000	0.9487
	800~1000	0.8921	0.8590	0.9080	0.8942	0.8915	0.9206	0.8929	0	0.7576
> 1000	0.8966	0.7778	0	0.8874	0.4259	0.6667	0	0	0	
Pielou 均匀度 指数 $E_H$	0~200	0.8400	0.7914	0.8184	0.8914	0.8095	0.8516	0.7923	0.7722	0.8833
	200~400	0.7985	0.7990	0.8597	0.6726	0.734	0.8522	0.5637	0.8597	0.9755
	400~600	0.7567	0.8864	0.8896	0.7143	0.7841	0.8195	0.8573	1	0
	600~800	0.7794	0.5778	0.7927	0.8166	0.5672	0.8592	0.8293	0.8113	0.9575
	800~1000	0.7987	0.8845	0.8883	0.8123	0.8896	0.9145	0.9690	0	0.8224
> 1000	0.9035	0.9183	0	0.7971	0.4499	0.9183	0	0	0	

对不同海拔梯度的 4 种物种多样性指数进行 Pearson 相关性分析(图 6),结果表明农作物种质资源的 Shannon-Wiener 多样性指数与 Brillouin 丰富性指数在 6 个海拔梯度均呈极显著正相关,海拔 0~200 m、400~600 m、600~800 m、800~1000 m、1000 m 以上的 Shannon-Wiener 多样性指数与 Simpson 指数呈极显著正相关,海拔 200~400 m、400~600 m、800~1000 m、1000 m 以上的 Simpson 优势度指数与 Pielou 均匀度指数呈极显著正相关。

对不同地级市收集的农作物种质资源的物种多样性指数进行相关性分析(图 7),结果表明三明

市和龙岩市、漳州市和南平市、漳州市和莆田市的 Shannon-Wiener 多样性指数呈极显著正相关,漳州市与莆田市的 Brillouin 丰富性指数呈极显著正相关。收集的农作物种质资源中,三明市和龙岩市科总数皆为 54 个,其中 39 个科作物相同,相同科数占科总数的 79.63%;漳州市与南平市科总数分别为 57 和 45,2 个地区有 38 个科作物相同,相同科数分别占科总数的 66.67% 和 84.44%;莆田市与漳州市科总数分别为 31 和 57,2 个地区有 28 个科作物相同,相同科数量占莆田市科总数的 90.32%,具有相同科的比例高于其余地区。

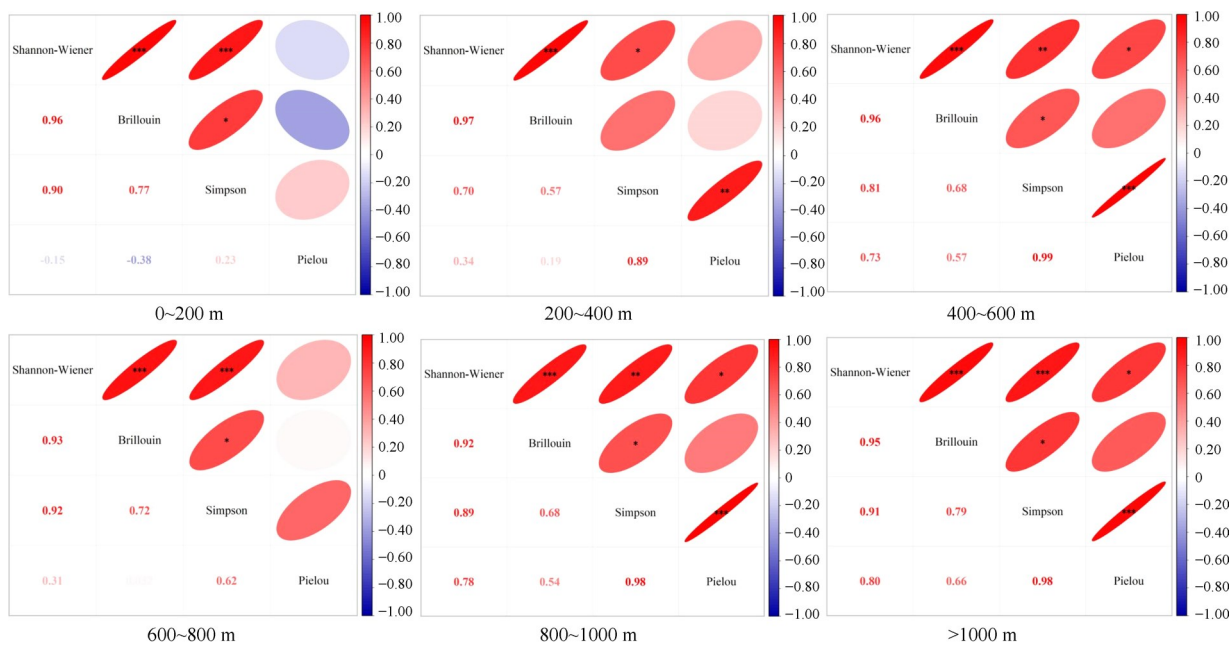


图6 不同海拔梯度的物种多样性指数相关性  
Fig.6 Correlation of species diversity index at different altitudes

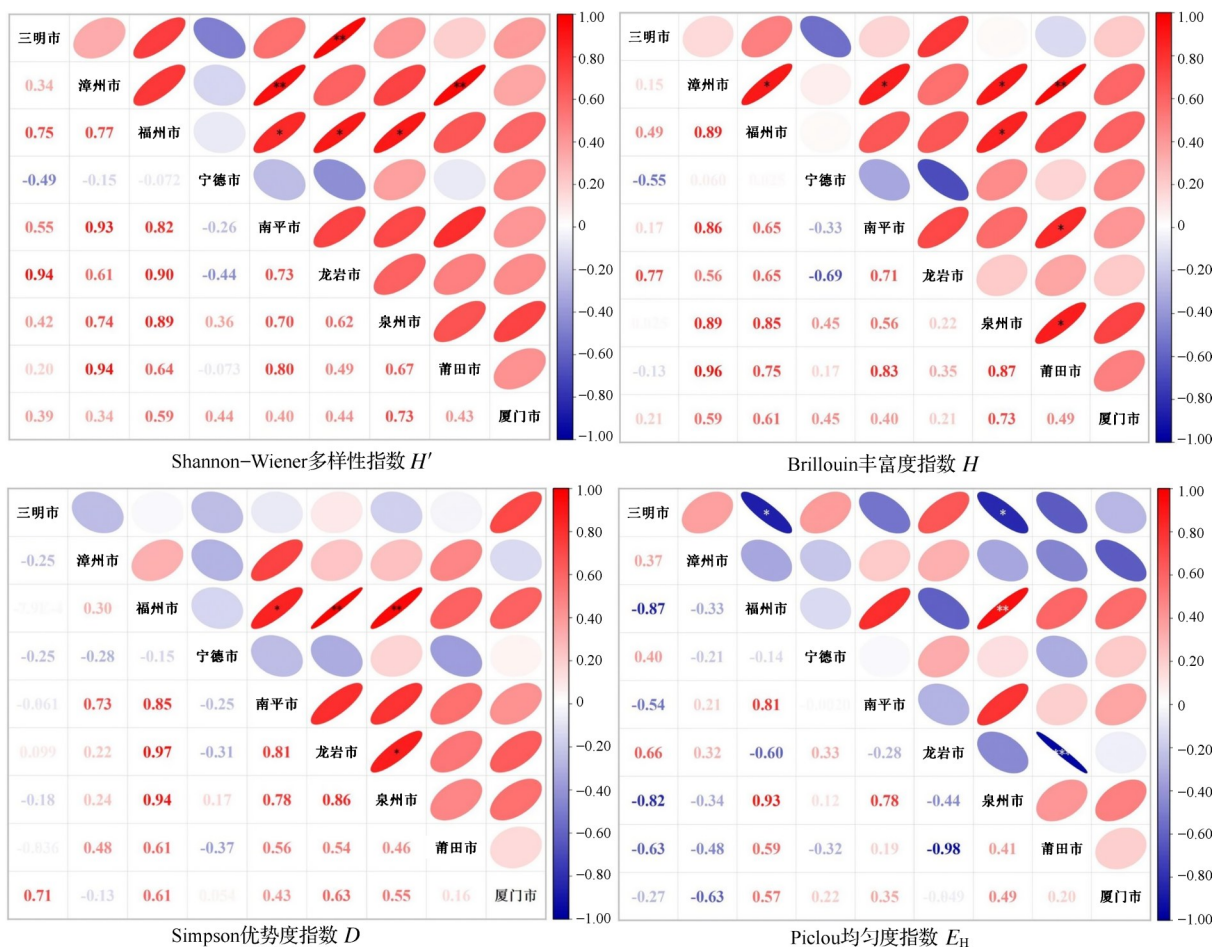


图7 不同地区物种多样性指数的相关性分析  
Fig. 7 Correlation analysis of species diversity index in different region

福州市与泉州市、龙岩市种质资源 Simpson 优势度指数呈极显著正相关,莆田市与龙岩市种质资源的 Pielou 均匀度指数呈极显著负相关,福州市与泉州市的 Pielou 均匀度指数呈极显著正相关,这 2 个地区分别有 63.60% 和 50% 的种质资源皆收集于海拔 0~200 m,除 200~400 m 和 400~600 m 处的种质资源数量稍不一致,其他海拔区间收集数量变化一致。

### 3 讨论

#### 3.1 福建省不同农业经济分区农作物种质资源的多样性

从全省收集的作物种类在地区和海拔中的差异及相关性发现,0~200 m 是全省四大平原所在的沿海地区 Shannon-Wiener 多样性指数和 Brillouin 丰富度指数最高的海拔区间,而 200~800 m 的闽西北内陆地区收集种质资源的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Brillouin 丰富度指数高于同海拔的闽南沿海地区,符合人为影响强烈及农耕地区,山区往往比平原具有更多的生物种类的一般规律<sup>[9]</sup>。同时沿海和内陆不同地区不同海拔收集的农作物种质资源种类和数量有明显差异,这与福建省闽东南沿海农业经济区和闽西北内陆农业经济区 2 大农业经济分区有关。福建依山面海,沿海与内陆在地貌、气候、植被、土壤、水分等自然条件和人口分布、农业生产历史、工业交通设施、对外开放程度等社会经济条件方面具有明显的差异。闽东南沿海农业经济区所在的沿海地区,地貌以低山丘陵和平原为主,包含福建省四大平原,气候以南亚热带为主,并伴有中南亚热带过渡区气候,光温条件较闽西北内陆区优越,农作物可一年三熟,热带作物、中南亚热带果树及茶树等生长良好,是全国重要的水果、茶叶产区<sup>[3]</sup>。同时由于闽东南沿海农业经济区经济开放较早,区内的莆田地区,原来主要种植荔枝与龙眼等果树,但作为台商投资热点地区,在收集的作物中,仙人掌科的火龙果逐渐取代了传统果树,成为这次普查与调查中该地区的主要变化。而外向型农业的主要地区——厦门市、泉州市和漳州市,依靠经济特区、沿海经济技术开发区、台商投资区等特殊政策,成为全省传统的出口蔬菜生产优势区和东南沿海地区蔬菜出口基地,十字花科和茄科蔬菜,如芥菜、萝卜、普通白菜、花椰菜、辣椒等的供应涵盖了东南亚及日韩等。闽西北内陆农业经济区地处闽西、闽中两大山带及山带间盆谷,地貌以山地丘

陵为主,中亚热带气候,该区集中了全省主要的商品粮基地县和国家级商品粮基地县,粮食生产商品率高,根据福建省第三次国土调查主要数据公报显示,南平市、三明市和龙岩市 3 个地级市耕地面积较大,占全省耕地的 51%。其中三明市是闽西北地区重要的蔬菜生产基地、全省重要的粮食主产区和全国最大的杂交水稻制种基地,作为调查县最多的市、重要的蔬菜生产基地,收集到的丝瓜种质资源高于其他地区。南平市自然生态环境优越,是农业生产特别是水稻生产的黄金宝地,该市的浦城县位于福建省最北端、闽浙赣三省交界处,是福建省最早的商品粮基地县,素有“闽北粮仓”之称,本次浦城县收集到红米、大冬糯、黑米等 9 份形态和功能各异的水稻种质资源。同时闽西北由于农户普遍处于山区,交通较为不便,且与该区的客家地区特殊习俗有关,因此保留了较多古老的水稻种质资源,使得在该区收集的水稻种质资源数量高于闽东南沿海农业经济区。但在甘薯种质资源上,闽东南沿海农业经济区和闽西北内陆农业经济区由于气候差异,反而是前者数量高于后者,这是因为闽东南沿海地区旱地多,比较适宜栽培甘薯;漳州和泉州等主产区气候温和,甘薯生长期长,特别是部分种植县冬季无霜,一年四季均可栽培,是我省鲜食甘薯主要产区,而闽西北地区是全省甘薯的特色产区,山地小规模种植居多,适应小气候的地方品种才得以保存下来。果树种质资源方面,与沿海地区不同的是,闽西北内陆农业经济区果树主要以落叶果树为主,如壳斗科的板栗和锥栗,蔷薇科的桃、梨,猕猴桃科的猕猴桃等种类的果树野生资源和地方品种收集数量较多,而闽东南沿海地区以常绿果树、热带果树的地方品种为主,如无患子科的龙眼和荔枝,芭蕉科的香蕉,蔷薇科的枇杷,桃金娘科的番石榴,杨梅和橄榄也是该区的特色果树。果树种质资源收集份数最多的是闽东南沿海地区的漳州市,该市是全省的热带地区,果树资源丰富,是全省柚类、香蕉、龙眼、杨梅、青梅、荔枝等作物的主要产区。

#### 3.2 福建省农作物种质资源多样性与其他省份的比较

本次普查收集的农作物种质资源种类丰富,6235 份种质资源总计归类到 83 科,229 属,313 种,数量前 10 的科主要是豆科、禾本科、山茶科、葫芦科、旋花科、蔷薇科、十字花科、无患子科、芭蕉科、芸香科,共占比 67.60%,与广东省在第三次普查收

集行动中前10数量的种质资源占比70.3%<sup>[10]</sup>比例近似,且有6个科的重叠,说明在地理位置相近、气候类型相似地区,农作物种质资源收集的种类和数量具有一定的相似性。长期以来,豆科作物在福建省人们的粮食组成和生活中占有极其重要的位置,特别是闽西北山区的三明市和龙岩市,是福建客家文化的主要聚集地,虽然经济发展与农业主导产业与沿海相差较大,但保留了作物种类繁多、功能各异、利用方式不同的豆科作物。譬如在三明市将乐县的非遗“擂茶”文化中,不同的豆类作物是重要的佐料;在三明市泰宁县等地,拥有1000年历史的游浆豆腐寓意吉祥,龙岩连城四堡漾豆腐寓意富贵,拥有800年历史的三明清流豆腐皮和闽西八大干之一的龙岩长汀豆腐干等,都是客家文化通过豆科作物在全省传承和发展的象征。根据调查,福建省豆科植物种类位居第三,仅次于菊科和禾本科<sup>[11]</sup>;在本次农作物种质资源普查与收集行动中,豆科农作物收集到的种类数仅次于禾本科的25个种31个属,但总数最多。由于豆科作物营养价值高,是植物蛋白的主要来源,且同时兼具粮食和蔬菜、经济作物、牧草等多种功能,因此收集到的作物类别多,数量也最多,这与广东<sup>[10]</sup>、重庆<sup>[12]</sup>等的普查收集、山东省沿海地区<sup>[13]</sup>、山西省干旱地区<sup>[14]</sup>进行的农作物种质资源调查结果相同。但不同地区豆科占比不同,福建省豆科占总数16.04%,低于广东省的25.29%,山东沿海的60.26%,山西省干旱地区的44.90%,这可能与福建可用耕地面积与农业发展方向有关。福建地处东南沿海,是人均耕地最少、人多地少矛盾十分突出的省份。但全省农业多样性资源丰富,多样性农业特点突出,茶叶、蔬菜、水果等8个特色农业全产业链蓬勃发展<sup>[15]</sup>。本次普查收集中,收集到的蔬菜占比33.57%,果树占比24.35%、经济作物占比14.59%,充分体现了福建省特色农业方向及农作物种质资源多样性<sup>[16]</sup>。豆科中食用豆比例为13.86%,而广东第三次普查食用豆占比为20.9%,说明即使地理位置相近,但是在对食用豆的具体利用上,两省仍有一定的差异。福建省豆科总计有19个属26个种,高于广东省14个属19个种,也高于在山东沿海调查到的5个属10个种、山西干旱地区的6个属10个种,这在一定程度上说明福建省地形崎岖不平,山多平地少,交通较为不便,生境片段化。福建地形无论是在水平方向还是垂直方向上,地貌、气候、土壤、植被、水文、地质等自然地理要素均表现出明显的分异特征,不

仅影响耕地形成发育和利用<sup>[17]</sup>,也对农作物种质资源的种类与利用产生较大影响,从而影响全省豆科作物的种类及分布。

### 3.3 地区对全省农作物种质资源收集数量及物种多样性的影响

农作物多样性是一个社会与自然相互作用的区域综合体,是人类文化多样性与自然生物多样性相互作用的结果。影响生物多样性变化的全球性的主导因素是社会经济发展<sup>[18-19]</sup>,该因素不仅影响生物多样性,也是农作物种质资源多样性的主要影响因素。本研究发现,9个地级市中社会经济越发达的地区收集的农作物种质资源数量与类型越少,反之,收集野生农作物多样性越丰富的地区,则地区社会经济则较为落后,这与黄昭奋等<sup>[20]</sup>的社会经济越发达,农业生物多样性越减少的结论基本一致。在全省9个地级市收集农作物种质资源数量上,三明市收集数量高于其余地级市。由于每个普查县和调查县征集和收集目标数固定,因此9个地级市最终收集的种质资源总数与其辖区内包含的调查县数量、市所辖的乡镇数、自然村数量相关。调查县多的地级市,收集的种质资源份数最多,譬如三明和漳州两市皆有5个调查县,其收集的种质资源数据份数都高于调查县较少的福州市、南平市和宁德市。而调查县数量的多少与该地区所辖的县(市、区)关系密切,三明市和漳州市所包含的县(市、区)分别为12和11个,高于其他地级市,所以其普查与调查收集种质资源的份数也远高于其他地级市。而莆田和厦门两市,所辖地面积较小,社会经济发达,没有调查县,莆田市总计有5个普查县,厦门市6个区中只有2个普查县,所以种质资源收集数量远低于三明和漳州等市。虽然沿海地区的农业生产占社会经济比例较小,但仍有较多古老地方品种亟需抢救性收集与保护。沿海岛屿地区的植物耐风耐盐碱,具有重要的作物改良前景,但由于经济发展,生态环境变化剧烈,调查发现多年生野生大豆这类国家二级保护植物濒临灭绝。沿海地区作为种质资源受威胁最大、濒危程度最高的地区,如不进行抢救性调查和收集,一些珍贵的种质资源可能将永久消失<sup>[13,21]</sup>;所以应加强福建沿海及其岛屿地区的农作物种质资源考察收集。

### 3.4 海拔对全省农作物种质资源物种多样性的影响

在福建省所处的中纬度(20~30°)地区,物种组

成变化与环境变量相关性最强,反映了环境筛选的重要性。在较小的采样范围内,与空间变量的相关性更强;在较大的采样范围内,环境变量的影响更大<sup>[22]</sup>。在福建省农作物种质资源调查中,海拔是影响全省农作物种质资源多样性重要的环境变量。海拔对光、温、水等气候因素的影响非常明显,尤其是对温、水的影响。一般海拔高度每增加100 m,气温下降0.5℃~0.7℃,气温降低相似于向北移动1个纬度<sup>[15]</sup>。在部分鉴定评价的水稻种质资源中,海拔0~600 m地区收集到117份籼稻资源,高于71份粳稻,这与籼稻适宜种植在低海拔湿热地区,粳稻则较适于高海拔种植有关。海拔同样影响果树的收集数量,如无患子科和芭蕉科等南亚热带喜温树种,随着海拔升高,数量降低较为明显,这与海拔过高,荔枝、龙眼、香蕉等果树不耐寒,无法安全越冬有关。山区因海拔升高导致的农作物生长热量不够和生长期短问题比较严重,如武夷山东南坡500 m高度能生长枇杷,而海拔750 m虽能生长,但开花多结果少,西北坡枇杷一般长在海拔350 m以下。对于部分地区,海拔可以成就当地的农业特色,高海拔冷凉气候条件可造就农作物种质资源特殊的品质。宁德市境内为全省畲族聚集主要地区,也是鹫峰山脉分布主要地区,地貌以中低山为主,整体海拔较高,是全省高山反季节蔬菜的主要种植区域之一,该地区收集到具有地区特色的高山马铃薯数量远高于其余地区。同理还有茄科作物,海拔200~800 m收集比例增多,与普查与调查县多分布于三明和南平等中高海拔内陆山区,且多为全省高山蔬菜和高山茶叶广泛分布地区有关,所以农业生产上,海拔与气候、土壤类型、地形和耕作难度等因素紧密关联。在本次普查收集行动中种质资源收集数量总体随着海拔升高呈逐渐下降趋势,福建收集农作物种质资源Shannon-Wiener多样性指数与海拔的关系与物种多样性随海拔升高而降低原则相似<sup>[8]</sup>,但由于农作物种质资源多样性与人类活动及经济效益相关,所以不同地区的农作物种质资源多样性及其利用方式的变迁不仅随着地理环境发生变化,还受农业政策<sup>[18]</sup>、生产方式、生计策略<sup>[23]</sup>、种植历史、饮食喜好等因素的影响。不同省份同种作物的海拔分布差异较大,如在重庆地区农作物种质资源收集过程中,海拔800 m以上各类蔬菜资源分布最多,占比达51.17%。这与本研究收集结果相差较大,福建在海拔0~400 m收集到的蔬菜种

质资源占比最大,为58.35%,海拔0~200 m收集数量高于200~400 m。这与重庆地区平均海拔较高,而本研究收集的蔬菜种质主要集中于福州以南沿海低海拔平原和盆地有关<sup>[16]</sup>。但部分作物多样性方面仍需考虑经济成本与适生环境之间的矛盾,如茶树种质资源可在高海拔种植且品质较好,但海拔越高,经济成本越高。本次收集数量占山茶科作物98.65%的茶树种质资源,是本次调查中山茶科作物的主要种类,并以中小叶茶为主,不同海拔茶树种质资源占比显示,海拔200~400 m茶树种质资源占比最多(40.95%),200~800 m占比达78.00%,200 m以上山茶科作物占94.75%,与中小叶茶种质资源适宜种植于海拔200~800 m的福建山地结论相似<sup>[20]</sup>。200~800 m海拔分布有多个茶叶资源圃,如漳州平和的茶叶资源圃在600~800 m,泉州安溪和武夷山的茶叶圃在200~400 m,同时山茶科作物也是海拔1000 m以上能够收集到的主要优势农作物,说明山茶科作物在海拔高的地区具有一定适生性,且资源圃经营经济成本也在可控范围。全省收集茶树种质资源来源较广,其中宁德周宁、蕉城、屏南等地收集的茶叶种质资源份数较多,这与宁德市是全省茶树生产的重要产区有关,该市有着茶叶生产得天独厚的优势以及茶叶生产远销的历史,蕉城天山菜茶、周宁汤家山村茶、周宁紫芽茶树品种等地方品种数量丰富且各有特点,不同采集地的野生或半野生茶树资源差异明显<sup>[24]</sup>。在利用方面,通过专家初步鉴定评价,收集的野生或半野生茶叶适制乌龙茶、绿茶、红茶等多种茶类。

**致谢:**对本文数据做出贡献的还有福建省参与第三次全国农作物种质资源普查与收集行动的所有普查和调查队队员、鉴定评价专家,无法一一枚举,在此一并感谢!

#### 参考文献

- [1] 刘旭,李立会,黎裕,方涛.作物种质资源研究回顾与发展趋势.农学报,2018,8(1):1-6  
Liu X, Li L H, Li Y, Fang W. Crop germplasm resources: Advances and trends. Journal of Agriculture, 2018, 8(1): 1-6
- [2] 廖善刚.福建省旅游气候资源分析.福建师范大学学报:自然科学版,1998(1):96-100  
Liao S G. Analysis of tourism climate resources in Fujian province. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 1998(1): 96-100
- [3] 韩霞,李冬玲.福建省志-科技技术志.北京:方志出版社,1999:67-68  
Han X, Li D L. Fujian provincial chronicle-science and

- technology chronicle. Beijing: Local Records Press, 1999: 67-68
- [4] 王金英,林亨芳,江川.福建省水稻地方品种稻米品质的特点分析.福建稻麦科技,1996,14(4):22-26  
Wang J Y, Lin H F, Jiang C. Analysis on the characteristics of rice quality of landrace in Fujian province. Fujian Science and Technology of Rice and Wheat, 1996, 14(4): 22-26
- [5] 唐学祥,苏晓梅,魏文麟.福建的辣椒品种资源.福建农业科技,1991(2):21-22  
Tang X X, Su X M, Wei W L. Pepper variety resources in Fujian. Fujian Agricultural Science and Technology, 1991(2): 21-22
- [6] 陈如凯,徐树传,陈振藩,李恒球.福建省野生大豆考察与研究.福建农业科技,1984(2):2-5  
Chen R K, Xu S C, Chen Z F, Li H Q. Investigation and research of wild soybeans in Fujian province. Fujian Agricultural Science and Technology, 1984(2): 2-5
- [7] 苏艳,杨忠义,曹永生,刘义富,陈晓艳,奎丽梅,刘晓利.云南作物资源特征特性及生态地理分布研究XVI.蔬菜资源的多样性分布研究.植物遗传资源学报,2012,13(1):52-56  
Su Y, Yang Z Y, Cao Y S, Liu Y F, Chen X Y, Kui L M, Liu X L. Characteristics and geographical distribution of Yunnan crops resources XVI. distribution diversity of vegetable germplasm in stress resistance. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(1): 52-56
- [8] 马克平,黄建辉,于顺利,陈灵芝.北京东灵山地区植物群落多样性的研究II.丰富度、均匀度和物种多样性指数.生态学报,1995,15(3):268-277  
Ma K P, Huang J H, Yu S L, Chen L Z. Studies on the diversity of plant community in dongling mountain area of Beijing II. Abundance, evenness and species diversity index. Journal of Ecology, 1995, 15(3): 268-277
- [9] 林育真,付荣恕.生态学.北京:科学出版社,2013:103  
Lin Y Z, Fu R S. Ecology. Beijing: Science Press, 2013: 103
- [10] 吴柔贤,徐恒恒,高家东,郜银涛,陈兵先,张文虎,刘军.广东省农作物种质资源调查与分析.广东农业科学,2020,47(9):1-11  
Wu R X, Xu H H, Gao J D, Hu Y T, Chen B X, Zhang W H, Liu J. Investigation and analysis of crops germplasm resources in Guangdong province. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(9): 1-11
- [11] 李春燕,詹杰,应朝阳,罗旭辉,陈恩,陈志彤.福建省野生豆科植物资源及植物生态地理区系分析.热带农业科学,2014,34(10):62-66  
Li C Y, Zhan J, Ying Z Y, Luo X H, Chen E, Chen Z T. Species composition and ecologically geographical flora of wild Leguminosae in Fujian province. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2014, 34(10): 62-66
- [12] 邸青,胡玮,张谊模,刘吉振,陈敏,吴霜,黄云峰.重庆市蔬菜种质资源调查收集与分析.植物遗传资源学报,2022,23(3):775-786  
Di Q, Hu W, Zhang Y M, Liu J Z, Chen M, Wu Shuang, Huang Y F. Survey, collection and analysis of vegetable germplasm resources in Chongqing municipality of China. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(3): 775-786
- [13] 丁汉凤,王栋,张晓冬,李润芳,李湛,马玉敏,张煜,李娜娜,陈为京,范仲学,樊守金,张立宾,张辉.山东省沿海地区农作物种质资源调查与分析.植物遗传资源学报,2013,14(3):367-372  
Ding H F, Wang D, Zhang X D, Li R F, Li Z, Ma Y M, Zhang Y, Li N N, Chen W J, Fan Z X, Fan S J, Zhang L B, Zhang H. Investigation and analysis of crop germplasm resources in coastal areas of Shandong province. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(3): 367-372
- [14] 穆志新,郝晓鹏,秦慧彬,李萌,王燕,畅建武,乔治军.山西省干旱地区农作物种质资源普查与分析.植物遗传资源学报,2016,17(4):637-648  
Mu Z X, Hao X P, Qin H B, Li M, Wang Y, Chang J W, Qiao Z J. General survey and analysis of crop germplasm resources in drought area of Shanxi province. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(4): 637-648
- [15] 张文开.福建省耕地资源优化利用.福州:福建师范大学,2002  
Zhang W K. Study on the quality utilization of the cultivated land resource in Fujian province. Fuzhou: Fujian Normal University, 2002
- [16] 王丹,陈秀兰,徐学荣.乡村振兴背景下福建蔬菜产业高质量发展路径.中国蔬菜,2022(7):8-12  
Wang D, Chen X L, Xu X R. The high quality development path of Fujian vegetable industry under the background of rural revitalization. China Vegetables, 2022(7): 8-12
- [17] 谢庆梓.福建山地气候生态特征及其宜茶气候带的划分.山地研究,1993(1):43-49  
Xie Q Z. Climato ecological characteristics of mountainous areas in Fujian and the division of suitable tea climate zones. Mountain Research, 1993(1): 43-49
- [18] 郭辉军,Christine Padoch,陈爱国,付永能.西双版纳社会发展与生物多样性变化研究.云南植物研究,2001(S1):37-49  
Guo H J, Christine P, Chen A G, Fu Y N. Social economic development and biodiversity change in Xishuangbanna, Yunnan, China. Yunnan Botanical Research, 2001(S1): 37-49
- [19] 陈海坚,黄昭奋,黎瑞波,彭宗波,麦全法,蒋菊生.农业生物多样性的内涵与功能及其保护.华南热带农业大学学报,2005(2):24-27  
Chen H J, Huang Z F, Li R B, Peng Z B, Mai Q F, Jiang J S. Connotation, function and conservation of agriculture biological diversity. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2005(2): 24-27
- [20] 黄昭奋,黎瑞波,麦全法,彭宗波,陈海坚,蒋菊生.海南农业生物多样性与社会经济发展水平关系研究.热带农业科学,2005(2):25-28  
Huang Z F, Li R B, Mai Q F, Peng Z B, Chen H J, Jiang J S. The relationship between agrobi diversity and socially economic development in hainan and its protective strategy chinese. Journal of Tropical Agriculture, 2005(2): 25-28
- [21] 高爱农,杨庆文.作物种质资源调查收集的理论基础与方法.植物遗传资源学报,2022,23(1):21-28

- Gao A N, Yang Q W. Theory and methods for survey and collection of crop germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(1):21-28
- [22] Keita N, Naoto S, Marc W, Cadotte, Akira S. The latitudinal gradient in plant community assembly processes: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 2022, 25:1711-1724
- [23] 周玉婷. 农业生物多样性利用和农民选择空间塑造——以贵州花边村的研究为例. 北京: 中国农业大学, 2015  
Zhou Y T. The using of agro-biodiversity and shaping of playroom for peasants' Choices-A case study in Huabian village of Guizhou province. Beijing: China Agricultural University, 2015
- [24] 杨军, 孔祥瑞, 王让剑. 基于 EST-SSR 标记的福建云霄县和尤溪县野生茶树遗传多样性分析. *茶叶学报*, 2022, 63(1):11-19  
Yang J, Kong X R, Wang R J. EST-SSR Marker-based genetic diversity analysis on wild tea germplasms from Yunxiao and Youxi counties in Fujian. *Acta Tea Sinica*, 2022, 63(1):11-19