DOI: 10. 11686/cyxb2025363 http://cyxb. magtech. com. cn
刘彩玲, 黄水珍, 黄毅斌, 等. 紫云英种质资源菜肥兼用价值综合评价. 草业学报, 2026, 35(10): 91－105.
LIU Cai-ling, HUANG Shui-zhen, HUANG Yi-bin, *et al*. An evaluation using multivariate statistical methods of suitability of 30 Chinese milk vetch germplasm lines for dual purpose vegetable and green manure use. Acta Prataculturae Sinica, 2026, 35(10): 91－105.

紫云英种质资源菜肥兼用价值综合评价

刘彩玲[1], 黄水珍[2], 黄毅斌[1], 叶红云[3], 何春梅[1], 钟少杰[1], 李清华[1], 王飞[1*]
(1. 福建省农业科学院资源环境与土壤肥料研究所/福建省植物营养与肥料重点实验室, 福建 福州 350013; 2. 福建省南平市农业科学研究所, 福建 南平 354200; 3. 江苏省无锡环境监测中心, 江苏 无锡 214121)

摘要: 紫云英除传统肥用外, 还具有菜用价值, 开展紫云英种质资源兼用型评价, 有利于提升其经济效应。本研究对30份代表性紫云英种质资源现蕾期菜用和再生期肥用指标进行分析, 结合主成分、隶属函数和聚类分析法评价适宜作菜肥兼用品种。结果表明: 菜用品质指标中铁(Fe)、硒(Se)、维生素C(Vc)、鲜草产量(FGY)的变异系数均大于20%, 早熟种钙(Ca)、锰(Mn)、膳食纤维(Df)、蛋白质(Pro)含量较高, 中熟种锌(Zn)、Se、Vc、可溶性糖(SS)含量较高, 晚熟种镁(Mg)、Fe、铜(Cu)含量和FGY较高; 肥用品质指标中, 氮(N)、磷(P)、钾(K)、有机质(SOM)、干草产量(HY)的变异系数均大于25%, 早熟种N、P、K、SOM养分累积量及HY均最高。从不同来源来看, 菜用养分以西北地区资源的Mg、Fe、Mn、Cu、Df含量较高, 华南地区资源的Ca、SS含量较高, 华中地区资源的Zn、Vc、Pro含量较高, 华东地区资源的Se含量较高, 西南地区的FGY较高; 肥用养分以华东地区资源的P养分累积量较高, 华南地区资源的N、K、SOM养分累积量和HY较高。基于综合评价*D*值可将菜肥兼用分为5个聚类(优质级、良好级、中等级、较差级、差级), 其中, 闽紫1号为优质级菜肥兼用品种; 湘乡种、信阳籽、金沙种为良好级菜肥兼用品种; 浦城2号、湘紫1号、弋江籽3号等6个品种为中等级菜肥兼用品种。综上, 闽紫1号等紫云英品种可作为蔬菜和绿肥两段式利用。

关键词: 紫云英; 种质资源; 菜用; 肥用; 综合评价

An evaluation using multivariate statistical methods of suitability of 30 Chinese milk vetch germplasm lines for dual purpose vegetable and green manure use

LIU Cai-ling[1], HUANG Shui-zhen[2], HUANG Yi-bin[1], YE Hong-yun[3], HE Chun-mei[1], ZHONG Shao-jie[1], LI Qing-hua[1], WANG Fei[1*]
1. *Institute of Resources, Environment and Soil Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences/Fujian Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Fuzhou* 350013, *China*; 2. *Nanping Institute of Agricultural Sciences, Nanping* 354200, *China*; 3. *Jiangsu Wuxi Environmental Monitoring Center, Wuxi* 214121, *China*

Abstract: Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*) is used both as a green manure fertilizer and a vegetable crop. Hence, we evaluated 30 representative Chinese milk vetch germplasm lines with different maturity dates and from different regions of China, to identify those best suited from an economic benefit perspective for dual purpose green manure and vegetable use. Harvests to determine nutrient status for green manure use and vegetable-use traits were carried out at the budding and post-cutting regrowth crop development stages. Data analysis involved integration of

收稿日期: 2025-09-08; 改回日期: 2025-12-01
基金项目: 国家绿肥产业技术体系(CARS-22-G-01), 省属公益类科研院所基本科研专项(2023R1023002), 院协同创新工程专项(XTCXQYTS202610)和院科技创新平台专项(CXPT202402)资助。
作者简介: 刘彩玲(1991－), 女, 福建惠安人, 硕士。E-mail: 553036876@qq. com
*通信作者 Corresponding author. E-mail: fjwangfei@163. com

principal component analysis, membership function and cluster analysis. It was found that, with respect to vegetable-use quality traits, early-maturing varieties had higher contents of calcium, manganese, dietary fiber and protein. Medium-maturing varieties exhibited higher contents of zinc, selenium, soluble sugar and vitamin C. Late maturing varieties displayed higher levels of manganese, iron, copper and fresh herbage yield. The coefficients of variation for iron, selenium, vitamin C and fresh herbage yield all exceeded 20%. For fertilizer-use quality traits, early-maturing varieties exhibited the highest concentration for all of the measured nutrients, as well as for hay yield, while the coefficients of variation for nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter and hay yield all exceeded 25%. Concerning suitability for vegetable use of germplasm lines of different origins, germplasm resources from northwest areas had higher contents of magnesium, iron, manganese, copper and dietary fiber; those from south China exhibited higher contents of calcium, soluble sugar; those from central China had higher zinc, vitamin C and protein, while those from east China had higher selenium content. The fresh herbage yield of accessions from the southwest area was relatively high. For nutrients of interest for fertilizer-use, germplasm resources from east China had higher phosphorus accumulation; those from south China exhibited higher accumulations of nitrogen, phosphorus, organic matter accumulation and hay yield. Cluster analysis based on a *D* value from multivariate data analysis classified the tested germplasm into five clusters (high-quality, excellent, medium, poor and low-grade). 'Minzi No. 1' was a high-quality dual-purpose vegetable and green manure variety; 'Xiangxiang', 'Jinsha' and 'Xinyangzi' were excellent dual-purpose vegetable and green manure varieties. Six varieties including 'Pucheng No. 2', 'Xiangzi No. 1' and 'Yijiangzi No. 3' were medium-quality dual-purpose vegetable and green manure varieties. In summary, 'Minzi No. 1' and several other accessions were found to be suitable for two-stage utilization as vegetable and green manure.

Key words: Chinese milk vetch; germplasm line; vegetable production; green manure application; multivariate evaluation

紫云英(*Astragalus sinicus*)是豆科黄芪属越年生草本植物,在我国悠久的农业生产历程中占有重要的地位,其种植史最早可追溯到公元前2世纪[1]。紫云英用途广泛,除作绿肥外,还作为食用、药用、养蜂及观赏作物;在我国境内拥有丰富的品种资源,种植区域主要分布于华东、华北、华南等地区,根据熟期可分类为特早熟种、中熟种和晚熟种,根据来源可分为地方品种和育成品种[1-3]。就其基本生长规律而言,不同品种对温度、水分、土壤养分等条件的适应性不同,因地域化的差异在物候期、产量、株高等生长特性方面存在着不确定性[4-5]。研究发现,同一品种在不同生态区生长性状表现不一,即使在同一生态区年际间生育期也存在差异[6-7]。因地制宜开展紫云英种质资源评价,能够较好地选择区域适宜品种,对紫云英高效利用和产业发展具有重要的指导意义。紫云英地上部植株的碳、氮、磷、钾含量是评价肥用价值的主要指标[8-9],鲜草每100 kg含氮(nitrogen,N)0.30~0.35 kg,含磷(P_2O_5)0.06~0.10 kg,含钾(K_2O)0.23~0.30 kg,还田量以22.5 t·hm^{-2}计算,相当于能够提供67.50~78.75 kg·hm^{-2}纯氮,5.90~9.83 kg·hm^{-2}纯磷和42.95~56.03 kg·hm^{-2}纯钾。大量试验表明紫云英还田在替代20%~40%化肥施用量下仍可使水稻(*Oryza sativa*)稳产[10-11]。其植株茎叶中的粗蛋白、粗脂肪等养分是评价饲用价值的主要指标[12-13];花中含有的多种中微量元素是反映蜜用价值的主要指标[14-15];在菜用方面,嫩梢中的维生素、矿物质等含量是评价菜用价值的主要指标[16-17]。紫云英还是国际公认的富硒作物,将其二次开发为富硒农产品,可有效提升紫云英的综合利用价值[18]。研究发现,与叶类蔬菜相比,紫云英嫩梢在蛋白质(protein)、总糖(total sugars)、维生素C(vitamin C)、铁(iron)、硒(selenium)、钙(calcium)等矿质元素含量方面均具有较大优势[8,16-21]。但以往研究主要关注紫云英资源单独菜用或肥用品种的筛选,多用途利用评价单一。紫云英种类繁多,含有丰富的养分,现蕾期是其营养生长向生殖生长的转化期,也是植株茎叶养分积累富集期,但现蕾期刈割嫩梢作为菜用后能否利用其再生特性生长一段时间再作为还田绿肥,目前尚不明确,这限制了紫云英应用价值的实现与在现代农业中的发展,亟需从种质品种层面挖掘菜肥兼用优异材料。为此,本研究以30份全国代表性紫云英品种为对

象，在田间试验条件下，开展不同熟期、不同分布区域资源功能化利用研究，运用主成分分析、隶属函数等评价方法，揭示其变异程度和变异规律，初步评价出适合福建地区菜肥兼用的紫云英品种，以期为紫云英的遗传改良及综合开发利用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地位于福建省农业科学院南平分院（南平市农业科学研究所）试验田（北纬 27°19′10″，东经 118°08′22″），年平均日照时数 1490.1 h，年有效积温（≥10 ℃）3599.8 ℃，年平均降水量 1801.9 mm，年均温 19.5 ℃，无霜期 287 d。土壤类型为红壤，前茬作物为花生（*Arachis hypogaea*），土壤基础理化性质为 pH 6.0，有机质 19.7 g·kg^{-1}，碱解氮 134.8 mg·kg^{-1}，有效磷 31.3 mg·kg^{-1}，速效钾 52.8 mg·kg^{-1}。

1.2　试验设计

试验采用完全随机区组设计，参试材料为 30 份全国代表性紫云英品种（系）（表 1），每个处理 3 次重复，共 90 个小区，每个小区面积 10 m^2（2 m×5 m），播种量为 22.5 kg·hm^{-2}，于 2020 年 11 月 4 日播种，在播种时施用 75 kg·hm^{-2}钙镁磷肥，作为基肥；其余田间管理按正常的大田管理进行。在现蕾期（2021 年 2 月 27 日）以留茬 15～20 cm 进行第一次嫩梢刈割，开展菜用评价；留茬植株生长至盛花期（2021 年 3 月 17 日）对再生地上部生物量进行第二次刈割，开展肥用评价。结合菜用和肥用评价结果进行菜肥兼用评价，兼用型资源评价流程见图 1。

表 1　30 份参试紫云英品种来源及熟期

Table 1　The regions and maturity of the 30 Chinese milk vetch varieties used in the study

编号 Code	品种 Varieties	来源 Origin	熟期 Maturity	编号 Code	品种 Varieties	来源 Origin	熟期 Maturity
1	桂紫 7 号 Guizi No. 7	广西 Guangxi	早熟种 Prematurity	16	弋江大叶 Yijiangdaye	安徽 Anhui	中熟种 Mid-maturation
2	闽清金沙 Minqingjinsha	福建 Fujian	早熟种 Prematurity	17	弋江籽 3 号 Yijiangzi No. 3	安徽 Anhui	中熟种 Mid-maturation
3	皖紫 Wanzi	安徽 Anhui	早熟种 Prematurity	18	弋江籽 2 号 Yijiangzi No. 2	安徽 Anhui	中熟种 Mid-maturation
4	闽紫 1 号 Minzi No. 1	福建 Fujian	早熟种 Prematurity	19	弋江籽 Yijiangzi	安徽 Anhui	中熟种 Mid-maturation
5	湘乡种 Xiangxiang	湖南 Hunan	早熟种 Prematurity	20	金沙种 Jinsha	贵州 Guizhou	中熟种 Mid-maturation
6	野炉村 Yelu village	陕西 Shaanxi	早熟种 Prematurity	21	南桥种 Nanqiao	上海 Shanghai	中熟种 Mid-maturation
7	焦山村 Jiaoshan village	陕西 Shaanxi	早熟种 Prematurity	22	余江大叶 Yujiangdaye	江西 Jiangxi	中熟种 Mid-maturation
8	信阳籽 Xinyangzi	河南 Henan	早熟种 Prematurity	23	闽紫 5 号 Minzi No. 5	福建 Fujian	中熟种 Mid-maturation
9	浦城 2 号 Pucheng No. 2	福建 Fujian	中熟种 Mid-maturation	24	闽紫 6 号 Minzi No. 6	福建 Fujian	中熟种 Mid-maturation
10	湘紫 1 号 Xiangzi No. 1	湖南 Hunan	中熟种 Mid-maturation	25	富乐种 Fule	云南 Yunnan	中熟种 Mid-maturation
11	湘紫 4 号 Xiangzi No. 4	湖南 Hunan	中熟种 Mid-maturation	26	萍宁 72 号 Pingning No. 72	广西 Guangxi	中熟种 Mid-maturation
12	闽紫 7 号 Minzi No. 7	福建 Fujian	中熟种 Mid-maturation	27	m83yij	河南 Henan	中熟种 Mid-maturation
13	闽紫 8 号 Minzi No. 8	福建 Fujian	中熟种 Mid-maturation	28	升钟 Shengzhong	四川 Sichuan	晚熟种 Late maturity
14	yH925	河南 Henan	中熟种 Mid-maturation	29	浙紫 5 号 Zhezi No. 5	浙江 Zhejiang	晚熟种 Late maturity
15	平湖大叶 Pinghudaye	浙江 Zhejiang	中熟种 Mid-maturation	30	宁波大桥 Ningbodaqiao	浙江 Zhejiang	晚熟种 Late maturity

1.3　测定项目

现蕾期和再生植株盛花期刈割后进行称重，测定鲜草产量（fresh grass yield，FGY），每个小区随机选取 3 份 1 kg 鲜草样品 105 ℃杀青 30 min 后，75 ℃烘干至恒重后粉碎。现蕾期植株样品测定菜用品质，包括膳食纤维、可溶性糖、矿质元素等营养指标，其中膳食纤维（dietary fiber，Df）采用酶重量法测定[22]，可溶性糖（soluble sugar，SS）采用苯酚法测定[23]，维生素 C（vitamin C，Vc）采用 2，6-二氯靛酚滴定法测定[24]，矿质元素［钙（calcium，Ca）、镁（magnesium，Mg）、铁（iron，Fe）、锰（manganese，Mn）、铜（copper，Cu）、锌（zinc，Zn）、硒（selenium，Se）］采用原子吸

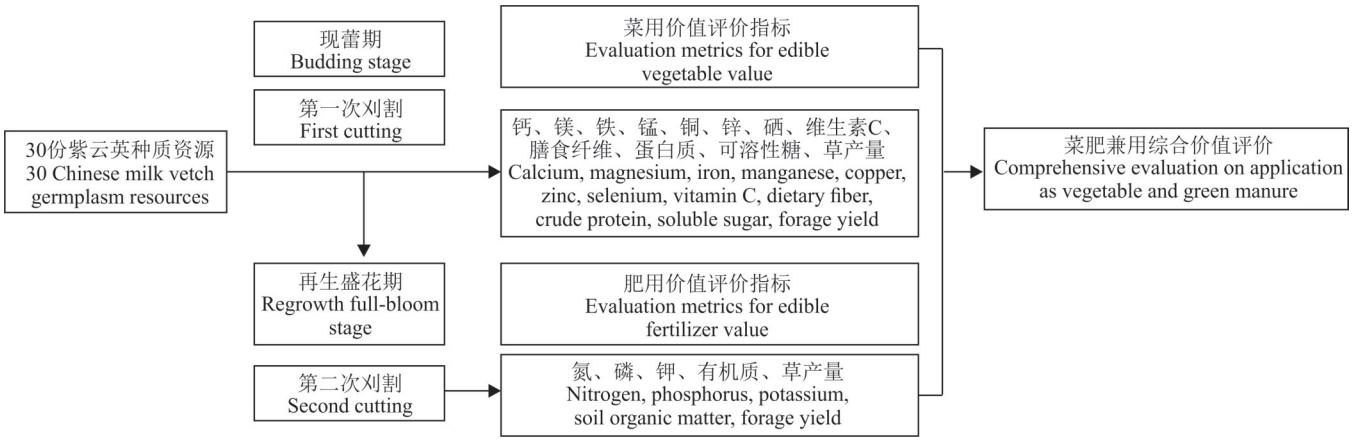


图1 紫云英菜肥兼用评价流程

Fig. 1 Evaluation flow for dual-purpose utilization of Chinese milk vetch as vegetable and green manure

收分光光度法测定[25]。再生植株样品测定肥用品质，包括全氮、全磷、全钾等养分指标，其中全氮[蛋白质(protein，Pro)＝全氮×6.25]采用凯氏定氮法测定[26]，全磷采用钒钼黄比色法测定[26]，全钾采用火焰光度法测定[26]，有机碳含量采用重铬酸钾－外加热法测定[26]。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2013进行数据整理与分析，采用SPSS 23.0进行主成分分析、隶属函数分析、聚类分析。

$$\text{变异系数(coefficient of variation，CV)}=\text{平均值}/\text{标准差}\times 100\% \tag{1}$$

$$\text{隶属函数值}R(X_{j,i})=(X_{j,i}-X_{j,\min})/(X_{j,\max}-X_{j,\min})\quad j=1,2,\cdots,n \tag{2}$$

式中：$R(X_{j,i})$表述第i个品种在第j项指标的隶属函数值，$X_{j,i}$表示第i个品种第j个主成分值，$X_{j,\min}$表示第j个主成分的最小值，$X_{j,\max}$表示第j个主成分的最大值。

$$\text{权重}\ W_j=p_j/\sum_{j=1}^{n}p_j\quad j=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

式中：W_j表示第j个主成分在所有主成分中的重要程度即权重，P_j代表经主成分分析所得第j个主成分的贡献率。

$$\text{综合评价}\ D=\sum_{j=1}^{n}[R(X_{j,i})\times W_j]\quad j=1,2,\cdots,n \tag{4}$$

式中：D值为第i个紫云英品种的综合评价值。

2 结果与分析

2.1 不同熟期紫云英种质资源菜用品质性状差异分析

对30份紫云英种质资源现蕾期菜用品质性状分析表明(表2)，不同熟期种质资源养分含量差异不大，早熟种Ca与Df含量显著高于中熟种，蛋白质含量显著高于晚熟种；中熟种SS含量显著高于早、晚熟种；晚熟种Cu含量显著高于早、中熟种。不同品质性状表现出不同程度的变异。其中，Fe含量的变异系数最大(33.48%)，变幅为373.85～1417.12 mg·kg^{-1}；FGY变异系数次之(30.19%)，变幅为6.34～33.65 t·hm^{-2}；再者为Se(24.40%)和Vc(24.08%)含量，变异系数均大于20%。SS、Pro、Zn、Mn含量变异系数均大于10%。综上，供试紫云英种质资源在菜用品质性状上具有丰富的表型多样性，可开展资源比较和优异种质资源的筛选。

2.2 不同区域来源紫云英种质资源菜用品质性状的差异分析

对来自不同区域的种质资源现蕾期植株菜用品质进行比较发现(表3)，西北地区种质资源中的Mg(2150.87 mg·kg^{-1})、Fe(942.76 mg·kg^{-1})、Mn(137.65 mg·kg^{-1})、Cu(18.08 mg·kg^{-1})、Df(41.88%)含量相对较高；华中地区种质资源的Zn(80.97 mg·kg^{-1})、Vc(54.36 mg·kg^{-1})、Pro(17.09%)含量较高；华东地区种质资源的Se(0.10 mg·kg^{-1})含量较高；华南地区种质资源的Ca(10329.30 mg·kg^{-1})、SS(1.77%)含量较高；西南地区种质资源FGY(29.41 t·hm^{-2})较高。综上表明不同地理来源的紫云英种质资源由于其自身的遗传特性或适应性导致了菜用品质性状的差异。

表 2　不同熟期紫云英种质资源菜用品质性状比较

Table 2　Comparison in vegetable quality trait of Chinese milk vetch germplasm resources across different maturity

性状 Trait	熟期 Maturity	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	标准差 Standard deviation (SD)	变异系数 Coefficient of variation (CV,%)
钙 Calcium (Ca,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	8800.24	10697.56	9742.79a	730.12	7.67
	中熟种 Mid-maturation	7766.09	10920.13	9389.24b	775.35	
	晚熟种 Late maturity	9252.96	9782.52	9513.59ab	264.88	
镁 Magnesium (Mg,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	2034.33	2209.80	2114.53a	58.27	4.62
	中熟种 Mid-maturation	1884.60	2307.98	2060.87b	111.37	
	晚熟种 Late maturity	2109.71	2122.77	2117.64a	6.97	
铁 Iron (Fe,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	436.74	1077.68	808.77a	260.11	33.48
	中熟种 Mid-maturation	373.85	1417.12	798.83a	293.34	
	晚熟种 Late maturity	619.37	1009.62	855.81a	207.83	
锰 Manganese (Mn,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	93.47	140.00	121.65a	15.45	11.45
	中熟种 Mid-maturation	92.86	144.69	116.47a	13.43	
	晚熟种 Late maturity	107.26	127.80	119.46a	10.80	
铜 Copper (Cu,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	16.17	18.42	17.14b	0.88	7.00
	中熟种 Mid-maturation	14.75	18.65	17.02b	1.18	
	晚熟种 Late maturity	16.55	19.79	18.50a	1.72	
锌 Zinc (Zn,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	62.32	85.54	77.67ab	6.96	11.59
	中熟种 Mid-maturation	65.97	103.70	81.36a	10.51	
	晚熟种 Late maturity	71.71	79.96	76.24b	4.18	
硒 Selenium (Se,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	0.07	0.11	0.08b	0.01	24.40
	中熟种 Mid-maturation	0.06	0.15	0.10a	0.03	
	晚熟种 Late maturity	0.08	0.10	0.09ab	0.01	
维生素 C Vitamin C (Vc,mg·kg^{-1})	早熟种 Prematurity	37.44	67.50	49.87a	11.45	24.08
	中熟种 Mid-maturation	24.82	76.39	51.25a	13.17	
	晚熟种 Late maturity	36.71	57.82	50.62a	12.07	
膳食纤维 Dietary fiber (Df,%)	早熟种 Prematurity	40.84	42.49	41.62a	0.73	2.66
	中熟种 Mid-maturation	39.03	42.82	40.86b	1.12	
	晚熟种 Late maturity	39.49	42.72	41.14ab	1.62	
蛋白质 Protein (Pro,%)	早熟种 Prematurity	13.65	18.99	16.43a	1.71	12.36
	中熟种 Mid-maturation	12.28	19.29	15.55ab	2.00	
	晚熟种 Late maturity	13.32	17.84	15.09b	2.41	
可溶性糖 Soluble sugar (SS,%)	早熟种 Prematurity	1.17	1.86	1.60b	0.28	17.79
	中熟种 Mid-maturation	1.18	2.41	1.76a	0.29	
	晚熟种 Late maturity	1.25	1.95	1.53b	0.37	
鲜草产量 Fresh grass yield (FGY,t·hm^{-2})	早熟种 Prematurity	14.35	29.40	22.42b	5.51	30.19
	中熟种 Mid-maturation	6.34	33.65	24.04ab	7.74	
	晚熟种 Late maturity	15.34	33.38	25.85a	9.38	

注：同列不同字母表示同一类性状不同熟期差异显著($P<0.05$)，下同。

Note: Different letters within the same column indicate significant differences in the same trait among different maturity at $P<0.05$ level, the same below.

表3 不同来源紫云英种质资源菜用品质差异比较

Table 3 Comparison of differences in vegetable quality among Chinese milk vetch germplasm resources from different geographical origins

来源地 Origin	钙 Calcium (Ca, mg·kg^{-1})	镁 Magnesium (Mg, mg·kg^{-1})	铁 Iron (Fe, mg·kg^{-1})	锰 Manganese (Mn, mg·kg^{-1})	铜 Copper (Cu, mg·kg^{-1})	锌 Zinc (Zn, mg·kg^{-1})
西北地区 Northwest area	8868.27±23.33c	2150.87±6.67a	942.76±20.84a	137.65±0.81a	18.08±0.12a	78.59±0.74a
华中地区 Central China	9404.96±184.10b	2083.32±75.44cd	797.13±159.16b	109.15±5.51d	17.16±0.52b	80.97±7.98a
华东地区 East China	9499.63±848.02b	2060.86±92.25d	844.08±285.05ab	121.04±12.97b	17.17±1.40b	80.92±8.24a
华南地区 South China	10329.30±78.46a	2121.77±1.66ab	599.45±19.79c	107.62±2.66d	16.96±0.26b	79.66±1.45a
西南地区 Southwest area	9744.63±122.18b	2115.31±11.13ab	666.27±70.68c	113.79±2.81c	17.04±0.26b	72.68±0.98b

来源地 Origin	硒 Selenium (Se, mg·kg^{-1})	维生素C Vitamin C (Vc, mg·kg^{-1})	膳食纤维 Dietary fiber (Df, %)	蛋白质 Protein (Pro, %)	可溶性糖 Soluble sugar (SS, %)	鲜草产量 Fresh grass yield (FGY, t·hm^{-2})
西北地区 Northwest area	0.08±0.00c	44.68±2.56c	41.88±0.17a	14.40±0.27c	1.17±0.00b	24.08±0.88c
华中地区 Central China	0.09±0.01b	54.36±4.99a	40.90±0.48bc	17.09±1.07a	1.73±0.14a	26.24±2.57bc
华东地区 East China	0.10±0.02a	50.88±11.86ab	41.19±1.21b	15.78±1.79b	1.73±0.32a	21.39±7.50d
华南地区 South China	0.07±0.00c	50.51±3.09ab	40.78±0.25c	14.15±0.33c	1.77±0.01a	28.08±1.91ab
西南地区 Southwest area	0.09±0.01b	47.71±8.86bc	40.56±0.33c	14.73±0.95c	1.72±0.07a	29.41±2.25a

注：同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)，下同。

Note: Different letters within the same column indicate significant differences at the 0.05 level, the same below.

2.3 紫云英种质资源的菜用价值评价

通过降维将12个菜用性状转化成为5个主要因子，根据特征值大于1的标准，可知其特征值分别为2.756、2.390、1.616、1.439、1.201，累计贡献率为78.335%，基本代表了30份种质资源的大部分遗传信息(表4)。

表4 紫云英种质资源菜用品质指标的主成分载荷矩阵、特征值和方差贡献率

Table 4 Principal component loading matrix, characteristic value and variance contribution rate of vegetable quality index of Chinese milk vetch germplasm resources

指标 Index	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
钙 Calcium (Ca)	0.018	0.457	0.266	0.222	−0.021
镁 Magnesium (Mg)	0.136	0.570	−0.088	−0.041	−0.046
铁 Iron (Fe)	0.467	−0.001	0.094	0.281	0.242
锰 Manganese (Mn)	0.422	−0.048	0.059	−0.464	−0.188
铜 Copper (Cu)	0.148	0.110	−0.281	0.612	0.247
锌 Zinc (Zn)	0.146	0.168	0.566	0.188	−0.213
硒 Selenium (Se)	0.042	−0.492	0.179	0.210	0.329
维生素C Vitamin C (Vc)	−0.261	0.164	0.219	0.146	−0.272
膳食纤维 Dietary fiber (Df)	0.242	0.267	−0.114	−0.368	0.454
蛋白质 Protein (Pro)	−0.147	0.153	0.402	−0.186	0.600
可溶性糖 Soluble sugar (SS)	−0.508	−0.011	0.250	−0.093	0.183
鲜草产量 Fresh grass yield (FGY)	−0.366	0.246	−0.440	0.023	0.126
特征值 Eigen values	2.756	2.390	1.616	1.439	1.201
贡献率 Contribution rate (%)	22.962	19.914	13.467	11.987	10.005
权重 Weight (%)	29.31	25.42	17.19	15.30	12.77
累积贡献率 Cumulative contribution rate (%)	22.962	42.876	56.343	68.330	78.335

对参试30份种质对应的特征向量，利用隶属函数进行归一化处理，各主成分的隶属函数值如表5所示。经计算，5个主成分的权重分别为29.31%、25.42%、17.19%、15.30%、12.77%（表4）。根据综合指数D值大小对其菜用品质价值进行系统聚类（图2），在欧氏距离为4.0时，30个紫云英分为5个类群，第Ⅱ类群＞第Ⅰ类群＞第Ⅳ类群＞第Ⅲ类群＞第Ⅴ类群。其中第Ⅱ类群包括2（闽清金沙）、9（浦城2号）、10（湘紫1号）等5份资源，属于菜用品质优质级，占16.67%；品种编号为3（皖紫）、4（闽紫1号）、5（湘乡种）、6（野炉村）等10份资源为第Ⅰ类群，属于菜用品质良好级，占33.33%；第Ⅳ类群包括1（桂紫7号）、8（信阳籽）、16（弋江大叶）等8份资源，属于菜用品质中等级，占26.67%；第Ⅲ类群包括11（湘紫4号）、12（闽紫7号）、13（闽紫8号）等6份资源，属于菜用品质较差级，占20.0%；第Ⅴ类群为编号15（平湖大叶）品种，属菜用品质差级，占3.33%。

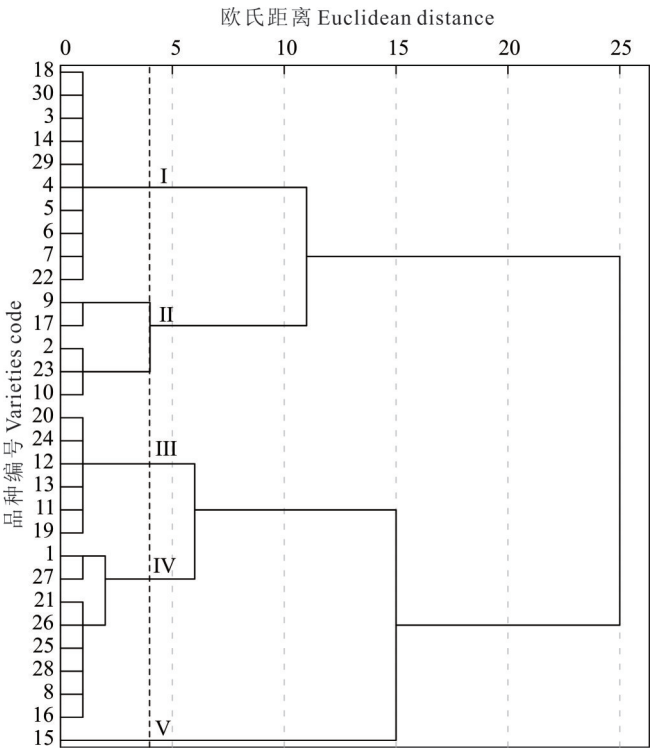


图2　紫云英种质资源菜用价值的聚类分析

Fig. 2　Cluster analysis of vegetable use value of Chinese milk vetch varieties

编号代表参试品种：1：桂紫7号，2：闽清金沙，3：皖紫，4：闽紫1号，5：湘乡种，6：野炉村，7：焦山村，8：信阳籽，9：浦城2号，10：湘紫1号，11：湘紫4号，12：闽紫7号，13：闽紫8号，14：yH925，15：平湖大叶，16：弋江大叶，17：弋江籽3号，18：弋江籽2号，19：弋江籽，20：金沙种，21：南桥种，22：余江大叶，23：闽紫5号，24：闽紫6号，25：富乐种，26：萍宁72号，27：m83yij，28：升钟，29：浙紫5号，30：宁波大桥，下同。No. represents the tested variety: 1: Guizi No.7, 2: Minqingjinsha, 3: Wanzi, 4: Minzi No. 1, 5: Xiangxiang, 6: Yelu village, 7: Jiaoshan village, 8: Xinyangzi, 9: Pucheng No.2, 10: Xiangzi No.1, 11: Xiangzi No.4, 12: Minzi No. 7, 13: Minzi No. 8, 14: yH925, 15: Pinghudaye, 16: Yijiangdaye, 17: Yijiangzi No.3, 18: Yijiangzi No.2, 19: Yijiangzi, 20: Jinsha, 21: Nanqiao, 22: Yujiangdaye, 23: Minzi No. 5, 24: Minzi No.6, 25: Fule, 26: Pingning No.72, 27: m83yij, 28: Shengzhong, 29: Zhezi No.5, 30: Ningbodaqiao, the same below.

2.4　再生期紫云英种质资源肥用品质性状的差异分析

对30份紫云英种质资源再生植株盛花期肥用养分累积量进行分析可知（表6），早熟品种氮、磷、钾养分累积量、干草产量均显著高于中熟和晚熟品种，钾和有机质养分累积量变异系数较大（＞30%），说明早熟品种因其草产量最高获得的养分累积量较高，而紫云英种质资源的钾和有机质累积量具有丰富的遗传变异。对来自不同区域的种质资源再生植株盛花期肥用品质进行比较发现（表7），华东地区和华南地区种质资源因其干草产量较高，氮、磷、钾、有机质的养分累积量也较高。综上说明草产量是影响养分累积量的关键因素。

2.5　再生期紫云英种质资源肥用品质价值评价

利用因子分析方法对供试种质资源再生期肥用品质性状进行综合评价，通过降维将5个性状转化成为2个主要因子，其特征值分别为2.398和1.325，权重分别为64.41%和35.59%，累计贡献率为74.455%，基本代表了30份种质资源的大部分遗传信息（表8）。

利用主成分得分和隶属函数对参试30份种质进行归一化处理（表9），根据综合指数D值大小进行肥用品质价值系统聚类（图3），在欧氏距离为2.0时，30个紫云英分为5个类群，第Ⅳ类群＞第Ⅴ类群＞第Ⅲ类群＞第Ⅰ类群＞第Ⅱ类群。其中第Ⅳ类群品种编号为4（闽紫1号）、8（信阳籽）、20（金沙种），属于肥用品质优质级，占10.0%；第Ⅴ类群为编号5（湘乡种）、24（闽紫6号）、25（富乐种）、27（m83yij）品种，属于肥用品质良好级，占13.33%；第Ⅲ类群包括1（桂紫7号）、9（浦城2号）、10（湘紫1号）等11份资源，属于肥用品质中等级，占36.67%；品种编号为2（闽清金沙）、3（皖紫）、6（野炉村）等10份资源为第Ⅰ类群，属于肥用品质较差级，占33.33%；第Ⅱ类群包括编号28（升钟）、29（浙紫5号）品种，属于肥用品质差级，占6.67%。

表5 紫云英种质资源菜用品质的主成分值、隶属函数值、综合评价值(*D*值)

Table 5 The principal component value, membership function value and comprehensive evaluation value (*D* value) in vegetable quality index of Chinese milk vetch germplasm resources

编号 Code	主成分 Principal component					隶属函数 Membership function					*D*值 *D*-value
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_1'	F_2'	F_3'	F_4'	F_5'	
1	−0.44	1.07	−0.08	−0.81	−0.48	0.42	0.70	0.45	0.31	0.45	0.51
2	1.29	0.41	1.60	−0.64	0.77	0.66	0.61	0.81	0.34	0.77	0.66
3	1.82	−0.04	0.74	−1.60	0.39	0.73	0.55	0.63	0.16	0.67	0.59
4	−1.35	2.61	1.40	−0.46	−0.27	0.30	0.92	0.77	0.38	0.51	0.61
5	−0.87	1.05	0.01	0.80	0.29	0.37	0.70	0.47	0.61	0.65	0.57
6	2.45	0.72	−2.16	−0.40	−0.20	0.81	0.65	0.00	0.39	0.52	0.56
7	2.01	0.09	−0.74	−0.58	−0.80	0.75	0.56	0.31	0.35	0.37	0.54
8	−1.88	−0.74	−0.72	0.31	1.69	0.23	0.45	0.31	0.52	1.00	0.46
9	1.13	1.11	1.83	2.84	0.10	0.63	0.71	0.86	1.00	0.60	0.77
10	−0.50	3.18	1.94	−1.08	0.64	0.41	1.00	0.89	0.26	0.74	0.70
11	−1.68	−1.25	0.69	0.20	−1.85	0.26	0.37	0.62	0.50	0.11	0.38
12	−3.58	−1.38	0.78	0.52	0.35	0.00	0.36	0.64	0.56	0.66	0.38
13	−1.29	−3.89	0.18	0.98	1.01	0.31	0.00	0.51	0.65	0.83	0.38
14	0.04	−1.13	0.90	1.13	1.21	0.49	0.39	0.66	0.68	0.88	0.59
15	0.25	−2.63	0.00	−2.15	−2.28	0.52	0.18	0.47	0.05	0.00	0.29
16	−0.82	−1.19	2.46	−1.21	−1.26	0.37	0.38	1.00	0.23	0.26	0.46
17	3.85	−1.32	1.64	1.10	0.77	1.00	0.36	0.82	0.67	0.77	0.74
18	1.97	−0.15	1.42	−0.82	−1.21	0.75	0.53	0.78	0.31	0.27	0.59
19	−0.01	−2.14	−1.18	−2.44	1.43	0.48	0.25	0.21	0.00	0.93	0.37
20	−0.39	0.75	−2.05	−0.95	−0.92	0.43	0.66	0.02	0.28	0.34	0.41
21	−0.51	−1.74	−0.47	0.45	1.52	0.41	0.31	0.37	0.55	0.96	0.48
22	−1.47	1.90	−0.29	−0.93	1.21	0.28	0.82	0.40	0.29	0.88	0.55
23	0.72	1.84	0.34	0.19	0.74	0.58	0.81	0.54	0.50	0.76	0.67
24	−2.02	0.86	−1.60	1.10	−1.00	0.21	0.67	0.12	0.67	0.32	0.42
25	−0.41	−0.76	−0.39	1.77	−1.59	0.43	0.44	0.38	0.80	0.17	0.47
26	−1.63	1.34	−0.79	1.48	−1.47	0.26	0.74	0.30	0.74	0.20	0.48
27	0.47	1.03	−1.49	−0.09	−0.29	0.54	0.70	0.14	0.45	0.50	0.52
28	−1.66	0.60	−0.76	−0.89	1.20	0.26	0.64	0.30	0.29	0.88	0.47
29	2.34	−0.51	−1.09	1.68	−0.72	0.80	0.48	0.23	0.78	0.39	0.58
30	2.14	0.30	−2.14	0.51	1.03	0.77	0.59	0.00	0.56	0.84	0.59

2.6 紫云英菜肥兼用型价值的综合评价

对紫云英现蕾期菜用和再生期肥用综合评价*D*值进行加权可知(表10),紫云英菜肥兼用品质排序为闽紫1号>信阳籽>金沙种>湘乡种>湘紫1号>弋江籽3号>浦城2号>m83yij>富乐种>闽紫6号>弋江籽2号>桂紫7号>皖紫>闽清金沙>闽紫5号>南桥种>萍宁72号>yH925>野炉村>闽紫8号>余江大叶>宁波大桥>焦山村>湘紫4号>闽紫7号>平湖大叶>弋江大叶>浙紫5号>弋江籽>升钟。

利用综合评价*D*值,根据最短距离法(3.0)进行聚类分析可知(图4),第Ⅴ类群>第Ⅳ类群>第Ⅲ类群>第Ⅰ类群>第Ⅱ类群。其中第Ⅴ类群为编号4(闽紫1号)品种,属于兼用品质优质级,占3.33%;第Ⅳ类群品种编号

表 6　不同熟期紫云英种质资源肥用养分累积量比较

Table 6　Comparison in accumulation of fertilizer nutrients among Chinese milk vetch germplasm resources across different maturity

性状 Trait	熟期 Maturity	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	标准差 Standard deviation (SD)	变异系数 Coefficient of variation (CV, %)
氮 Nitrogen ($kg \cdot hm^{-2}$)	早熟种 Prematurity	32.56	74.76	53.63a	16.27	26.36
	中熟种 Mid-maturation	26.97	60.33	45.55b	9.41	
	晚熟种 Late maturity	32.47	35.15	33.76c	1.34	
磷 Phosphorus ($kg \cdot hm^{-2}$)	早熟种 Prematurity	5.39	11.67	8.37a	2.56	28.55
	中熟种 Mid-maturation	3.64	10.95	7.13b	1.93	
	晚熟种 Late maturity	5.81	6.11	5.99c	0.16	
钾 Potassium ($kg \cdot hm^{-2}$)	早熟种 Prematurity	37.71	98.17	64.60a	22.59	31.66
	中熟种 Mid-maturation	27.91	85.03	53.85b	15.26	
	晚熟种 Late maturity	38.54	50.16	43.26c	6.11	
有机质 Soil organic matter ($t \cdot hm^{-2}$)	早熟种 Prematurity	0.76	2.04	1.32a	0.50	31.39
	中熟种 Mid-maturation	0.60	1.84	1.15ab	0.34	
	晚熟种 Late maturity	0.97	1.15	1.04b	0.10	
干草产量 Hay yield ($kg \cdot hm^{-2}$)	早熟种 Prematurity	1064.25	2539.09	1700.22a	570.98	28.97
	中熟种 Mid-maturation	800.52	2292.58	1476.50b	398.75	
	晚熟种 Late maturity	1223.94	1435.94	1300.77b	117.43	

表 7　不同来源紫云英种质资源肥用养分累积量的差异比较

Table 7　Comparison of differences in accumulation of fertilizer nutrients among Chinese milk vetch germplasm resources from different geographical origins

来源地 Origin	氮 Nitrogen ($kg \cdot hm^{-2}$)	磷 Phosphorus ($kg \cdot hm^{-2}$)	钾 Potassium ($kg \cdot hm^{-2}$)	有机质 Soil organic matter ($t \cdot hm^{-2}$)	干草产量 Hay yield ($kg \cdot hm^{-2}$)
西北地区 Northwest area	34.91±0.81c	5.68±0.10c	47.26±0.91bc	1.02±0.02b	1293.58±96.74b
华中地区 Central China	45.52±3.33b	7.02±0.74ab	52.00±5.64b	1.05±0.12b	1368.91±222.05b
华东地区 East China	48.20±11.91ab	7.70±2.10a	59.10±17.12a	1.28±0.36a	1623.04±446.51a
华南地区 South China	50.86±8.20a	7.67±1.37ab	63.04±12.05a	1.32±0.25a	1659.95±121.54a
西南地区 Southwest area	43.90±3.63b	6.90±0.34b	44.14±2.00c	0.98±0.05b	1281.75±172.59b

表 8　紫云英种质资源肥用品质指标的主成分载荷矩阵、特征值和方差贡献率

Table 8　Principal component loading matrix, characteristic value and variance contribution rate of fertilizer quality index of Chinese milk vetch germplasm resources

指标 Index	主成分 Principal component		指标 Index	主成分 Principal component	
	1	2		1	2
氮 Nitrogen	0.590	0.220	特征值 Eigen values	2.398	1.325
磷 Phosphorus	0.423	0.285	贡献率 Contribution rate (%)	47.956	26.499
钾 Potassium	−0.056	0.759	权重 Weight (%)	64.409	35.591
有机质 Soil organic matter	−0.571	0.005	累积贡献率 Cumulative contribution rate (%)	47.956	74.455
干草产量 Hay yield	−0.379	0.542			

表9 紫云英种质资源肥用品质的主成分值、隶属函数值、综合评价值(*D*值)

Table 9 The principal component value, membership function value and comprehensive evaluation value (*D* value) in fertilizer quality index of Chinese milk vetch germplasm resources

编号 Code	主成分 Principal component		隶属函数 Membership function		*D*值 *D*-value	编号 Code	主成分 Principal component		隶属函数 Membership function		*D*值 *D*-value
	F_1	F_2	F_1'	F_2'			F_1	F_2	F_1'	F_2'	
1	−1.77	2.31	0.03	1.00	0.38	16	−1.80	1.03	0.03	0.74	0.28
2	−1.83	0.22	0.02	0.57	0.22	17	−1.10	1.88	0.15	0.91	0.42
3	−1.95	1.48	0.00	0.83	0.30	18	−0.95	0.02	0.17	0.53	0.30
4	2.71	1.45	0.82	0.82	0.82	19	−0.73	−0.06	0.21	0.51	0.32
5	2.43	0.20	0.77	0.56	0.69	20	3.76	0.55	1.00	0.64	0.87
6	−0.72	−0.68	0.21	0.38	0.27	21	0.05	−0.57	0.35	0.41	0.37
7	−0.67	−0.69	0.22	0.38	0.28	22	−0.79	−0.57	0.20	0.41	0.28
8	2.83	1.38	0.84	0.81	0.83	23	−1.48	−0.54	0.08	0.41	0.20
9	−0.98	0.68	0.17	0.66	0.34	24	1.45	0.12	0.59	0.55	0.58
10	1.04	−0.35	0.52	0.45	0.50	25	1.42	0.20	0.59	0.57	0.58
11	−1.18	1.60	0.14	0.85	0.39	26	1.04	−2.18	0.52	0.07	0.36
12	0.49	−1.11	0.43	0.30	0.38	27	1.11	0.60	0.54	0.65	0.58
13	0.88	−0.81	0.49	0.36	0.45	28	−0.60	−2.54	0.24	0.00	0.15
14	−1.38	−0.07	0.10	0.51	0.25	29	−1.59	−1.32	0.06	0.25	0.13
15	0.82	−0.65	0.48	0.39	0.45	30	−0.53	−1.61	0.25	0.19	0.23

为5、8、20(湘乡种、信阳籽、金沙种),属于兼用品质良好级,占10.0%;第Ⅲ类群包括9、10、17(浦城2号、湘紫1号、弋江籽3号)等6份资源,属于兼用品质中等级,占20.0%;品种编号为1、2、3(桂紫7号、闽清金沙、皖紫)等13份资源为第Ⅰ类群,属于兼用品质较差级,占43.3%;第Ⅱ类群包括编号11、12、15(湘紫4号、闽紫7号、平湖大叶)等7份资源,属于兼用品质差级,占23.33%;与排序结果一致。

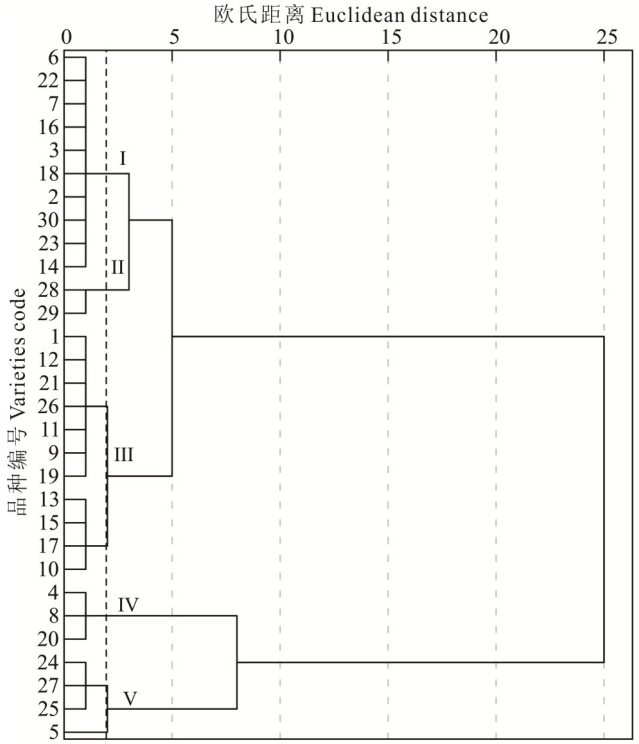


图3 再生期紫云英种质资源肥用价值的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of fertilizer use value of Chinese milk vetch varieties in regrowth stage

3 讨论

3.1 不同熟期紫云英种质资源的生长特性

紫云英种质资源间具有不同的遗传背景,加上气候环境等因素影响,其生长、品质特性变异存在明显差异。变异系数能够体现品种间差异的大小。本研究结果表明,从菜用不同品质指标变异来看,铁、硒、维生素C、鲜草产量的变异系数均大于20%,锰、锌、蛋白质和可溶性糖变异系数大于10%;从肥用不同品质性状指标来看,氮、磷、钾、有机质、干草产量的变异系数均较高(大于25%)。说明紫云英种质间这些品质指标性状变异丰富。本研究发现,从不同熟期平均

表 10　紫云英菜肥兼用型品质综合得分

Table 10　Comprehensive scores of application as vegetable and green manure in Chinese milk vetch

编号 Code	综合 *D* 值 Comprehensive *D*-value	排序 Sequence	编号 Code	综合 *D* 值 Comprehensive *D*-value	排序 Sequence
1	0.89	12	16	0.74	27
2	0.88	14	17	1.16	6
3	0.89	13	18	0.89	11
4	1.43	1	19	0.69	29
5	1.26	4	20	1.28	3
6	0.83	19	21	0.85	16
7	0.82	23	22	0.82	21
8	1.28	2	23	0.87	15
9	1.12	7	24	1.00	10
10	1.20	5	25	1.05	9
11	0.77	24	26	0.85	17
12	0.76	25	27	1.10	8
13	0.83	20	28	0.62	30
14	0.83	18	29	0.71	28
15	0.74	26	30	0.82	22

养分含量来看，菜用品质性状中，早熟种钙、锰、膳食纤维、蛋白质含量较高，中熟种锌、硒、可溶性糖、维生素 C 含量较高，晚熟种镁、铁、铜含量和鲜草产量较高；再生期肥用品质性状中，早熟种氮、磷、钾、有机质养分累积量和干草产量均最高，而晚熟种整体性状表现为最低。这与前人的研究结果基本一致，即不同熟期紫云英品种间养分含量存在较大差异[4,7,12,27]。从草产量来看，菜用品质性状表现为晚熟种＞中熟种＞早熟种，与前人研究结果表现为早熟品种鲜草产量总体低于中、迟熟品种一致[4,28]。而再生期肥用草产量则表现为早熟种＞中熟种＞晚熟种，这可能是因为早熟品种在刈割前接近生殖生长期，植株体内积累的碳水化合物、氮素等养分在茎基部和根系储备充足，刈割后可快速调动根部养分供应茎基部新枝生长，恢复至营养生长为主，因此再生期草产量更高。而晚熟种在刈割前主要处于营养生长阶段，养分主要供应地上部植株生长，以利于获得较高的生物量，用于再生的营养储备较少，刈割后再生能力恢复速度慢，再生草产量较低。相关研究也表明植株刈割后生理功能会受到抑制，原有贮藏的物质不再发挥作用，新得到的物质含量变化和分配因品种不同存在差异[29]。另外，本研究以第一次留茬 15～20 cm 刈割作菜用与再生期植株作绿肥两段式利用，有别于传统牧草以高度 5～10 cm 留茬刈割仅作饲草或绿肥单次利用的方式。研究认为高留茬能够为余下

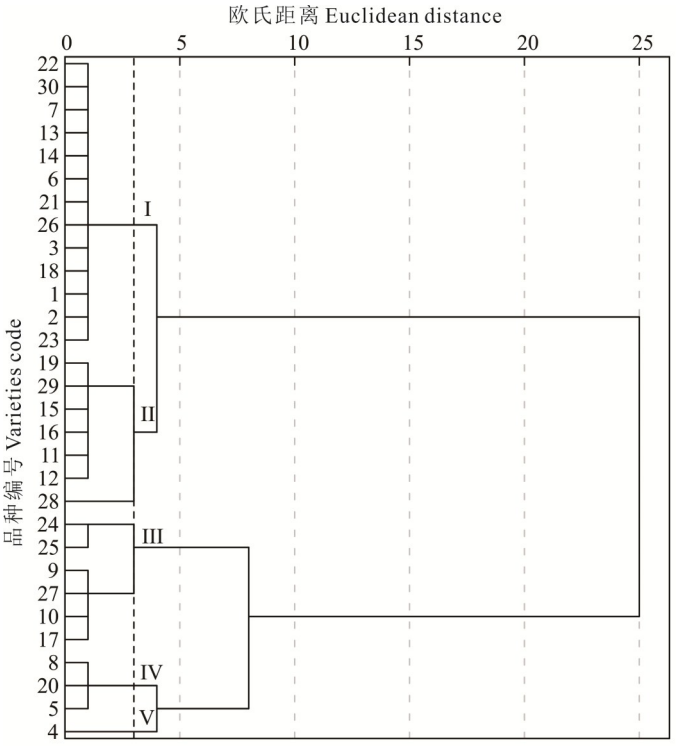


图 4　基于综合 *D* 值的聚类分析结果

Fig. 4　Cluster analysis results based on comprehensive *D*-value

的地上部植株最大程度地保留光合面积,合成更多的光合产物[30-31],也能够更好地匹配早熟品种“快速生长”的需求,因此刈割后早熟品种地上部再生生长速度相较于中晚熟品种更快。综上说明不同熟期紫云英种群内变异大,遗传基础十分广泛,能为紫云英的优异资源评价和良种选育提供扎实的基础;早熟品种再生能力优于中晚熟品种,再生期作为绿肥翻压回田,能够为土壤提供更多的有机肥源。

3.2 不同区域来源紫云英种质资源的生长特性

我国土地广袤,各地区土壤类型、耕作制度等存在差异,对紫云英生长和生理特性需求不一,使得紫云英地方种或选育种具有明显的地域性特征。长江中下游地区以“特早花、适产、高养分含量”品种为主[32];华中地区以“抗寒、种子高产”品种为主[33];华北地区以“耐旱、耐瘠薄”适应性改良品种为主[34]。研究发现,不同紫云英品种植株茎叶、花、种子中的矿质元素及氮、磷、钾等养分均存在差异;植株中碳素最为稳定,氮、磷及钾变异较大[32];花中钙、锰、硒变异较大[15];嫩梢中钙、铁、锌变异较大[16]。本研究中,不同分布地区的紫云英种质资源间菜用养分和再生期肥用养分存在明显差异。其中,菜用养分指标在不同地区表现出较大的区别,西北地区资源的镁、铁、锰、铜、膳食纤维含量相对较高(以野炉村、焦山村品种为代表);华南地区资源的钙、可溶性糖较高(以桂紫7号为代表);华中地区资源锌、Vc、蛋白质含量较高(以焦山村、湘乡种为代表);华东地区资源的硒含量较高(以焦山村品种为代表);西南地区鲜草产量较高(以升钟为代表)。再生期肥用养分以华东地区资源磷养分累积量含量较高(以皖紫为代表);华南地区资源的氮、钾、有机质养分累积量较高(以桂紫7号为代表)。综上,生长环境对紫云英养分含量与积累有着重要的影响,因地制宜地选择和推广适宜品种,对提高紫云英在不同生态区的适应性和综合利用潜力具有重要意义。

3.3 紫云英分段菜、肥利用及兼用评价

紫云英种类繁多,生育期跨度大,研究认为熟期相同的品种之间遗传距离较近,品种间性状高度相似,但环境因素对紫云英生长的影响更为显著[15,34-36]。因此,本研究对紫云英相似生育时间、相同区域来源品种开展性状差异分析,采用主成分分析法与隶属函数分析法相结合的方式,将12个菜用性状指标和5个肥用性状指标系数简化为评价指标D值开展分段菜、肥及兼用型价值评价。根据菜用评价D值可知,浦城2号、弋江籽3号、湘紫1号等5个品种为优质级,闽紫1号、宁波大桥、皖紫等10个品种为良好级。从再生期肥用评价D值来看,金沙种、信阳籽、闽紫1号为优质级,湘乡种、富乐种、闽紫6号和m83yij为良好级。基于菜用和再生期肥用综合评价D值可知,将30个紫云英种质聚类分析划分为5个类群,优质级占总资源的3.33%,良好级占10.0%;中等级占20.0%,差级占23.33%,较差级占43.3%。其中,闽紫1号为优质级菜肥兼用品种,湘乡种、信阳籽、金沙种为良好级菜肥兼用品种。从熟期来看,闽紫1号、湘乡种和信阳籽属于早熟品种,金沙种为中熟品种,再生期地上部生物产量均较高,适宜做菜肥兼用品种。从菜用品质特性分析,早熟兼用品种的钙、锰、膳食纤维、蛋白质含量较高;中熟兼用品种锌、硒、可溶性糖、维生素C含量较高。从肥用品质特性分析,早中熟兼用品种的氮、磷、钾、有机质养分累积量和干草产量均较高。综上可知,早中熟紫云英品种在产量和养分含量方面具有一定的优势,适宜作为兼用型品种利用,在主要种植地区可结合品种来源地适应性及特性进行推广,建立紫云英“现蕾期菜用—再生期肥田”的资源高效循环利用模式,可丰富紫云英种质资源的产业化利用,同时为专用型种质选育提供理论依据。

4 结论

不同熟期与不同区域来源紫云英种质间菜用和肥用养分性状变异丰富,30份紫云英种质资源可分为5个类群,闽紫1号为优质级菜肥兼用品种;湘乡种、信阳籽、金沙种为良好级菜肥兼用品种;浦城2号、湘紫1号、弋江籽3号等6个品种为中等级菜肥兼用品种;桂紫7号、闽清金沙、皖紫等13个品种为较差级兼用品种;湘紫4号、闽紫7号、平湖大叶等7个品种为差级兼用品种。

参考文献 References:

[1] Lin D H, Gu R S. Milk vetch in China. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 2000.
林多胡, 顾荣申. 中国紫云英. 福州: 福建科学技术出版社, 2000.

[2] Xia H L, Kang L C, Wang F, *et al*. The research status and prospect of *Astragalus sinicus* as green manure in Jiangxi. Pratacultural Science, 2018, 35(11): 2711－2721.
夏海林, 康丽春, 王飞, 等. 江西绿肥紫云英的研究. 草业科学, 2018, 35(11): 2711－2721.

[3] Wei Z Q. Growth characteristics and nutrient accumulation of common *Astragalus sinicus* cultivars in Jiangxi Province. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2022.
魏志强. 江西常见紫云英品种生育特性及养分积累特征研究. 南昌: 江西农业大学, 2022.

[4] He C M, Liu C L, Wang L M, *et al*. Comparative study on local cultivars of *Astragalus sinicus* L. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(3): 441－448.
何春梅, 刘彩玲, 王利民, 等. 紫云英地方种质资源品种比较试验. 热带作物学报, 2020, 41(3): 441－448.

[5] Yu X. Analysis of genetic diversity in Chinese milk vetch collections and selection of breed lines. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2022.
虞啸. 紫云英种质资源的遗传多样性分析及新品种选育. 南京: 南京农业大学, 2022.

[6] Li Z Y, Tang H Q, He T G, *et al*. Research progress of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*). Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2016, 36(11): 27－32.
李忠义, 唐红琴, 何铁光, 等. 绿肥作物紫云英研究进展. 热带农业科学, 2016, 36(11): 27－32.

[7] Zhang X, Wang J H, Cao K, *et al*. Genetic variations of agronomic traits in Chinese milk vetch cultivars. Pratacultural Science, 2013, 30(8): 1240－1245.
张贤, 王建红, 曹凯, 等. 紫云英的农艺性状变异. 草业科学, 2013, 30(8): 1240－1245.

[8] Ye H Y. Evaluation on fertilizer and vegetable use of 30 Chinese milk vetch germplasm resources. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2022.
叶红云. 30份紫云英种质资源肥用与菜用评价. 福州: 福建农林大学, 2022.

[9] Xie Z J, Zhou C H, He Y Q, *et al*. A review of *Astragalus sinicus* in paddy fields in south China since 2000s. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(8): 185－196.
谢志坚, 周春火, 贺亚琴, 等. 21世纪我国稻区种植紫云英的研究现状及展望. 草业学报, 2018, 27(8): 185－196.

[10] Zhang J S, Zhang L, Ding L, *et al*. Effects of Chinese milk vetch incorporation and chemical fertilizer reduction on soil nitrogen supply and rice growth. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022, 28(10): 1793－1803.
张济世, 张琳, 丁丽, 等. 紫云英还田与化肥减量配施对土壤氮素供应和水稻生长的影响. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(10): 1793－1803.

[11] Chen J R, Qin W J, Wang S X, *et al*. Effects of reduced chemical fertilizer combined with Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) incorporation on rice yield and nitrogen use efficiency in double-rice cropping system. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(6): 280－287.
陈静蕊, 秦文婧, 王少先, 等. 化肥减量配合紫云英还田对双季稻产量及氮肥利用率的影响. 水土保持学报, 2019, 33(6): 280－287.

[12] Liu C L, He C M, Wang L M, *et al*. The study on comprehensive value of forage and green manure in Chinese milk vetch. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(3): 857－862.
刘彩玲, 何春梅, 王利民, 等. 紫云英作为饲草和绿肥综合利用价值的研究. 草地学报, 2020, 28(3): 857－862.

[13] He C M, Zhang Z D, Liu C L, *et al*. Effects of fresh green forage of *Astragalus sinensis* on weight of young black rabbits. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(5): 99－104.
何春梅, 章赞德, 刘彩玲, 等. 紫云英鲜草青饲对幼兔增重效果的分析. 江西农业学报, 2020, 32(5): 99－104.

[14] Zhou J F, Xu Q, Xu Y L, *et al*. Determination of trace elements in Chinese milk vetch honey by flame atomic absorption spectrometry. Guangdong Trace Elements Science, 2015, 22(3): 19－21.
周芥锋, 徐琴, 徐雅利, 等. 紫云英蜂蜜中三种微量元素的测定. 广东微量元素科学, 2015, 22(3): 19－21.

[15] Liu C L, He C M, Fang Y, *et al*. Mineral composition in flower of Chinese milk vetch and its potential for drink nutritional value. The Food Industry, 2023, 2(44): 342－346.
刘彩玲, 何春梅, 方言, 等. 紫云英花矿物质成分及其开发为饮品营养价值分析. 食品工业, 2023, 2(44): 342－346.

[16] Fang Y, Liu C L, Ye L T, *et al*. Analysis of mineral elements and vegetable nutritive value of shoots of Chinese milk vetch. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(4): 1099－1105.
方言, 刘彩玲, 叶礼霆, 等. 紫云英嫩梢矿质元素成分及作为菜用营养价值的分析. 草地学报, 2023, 31(4): 1099－1105.

[17] Ji W Y, Xu J, Wang J H, *et al*. Selection of vegetable Chinese milk vetch species varieties and preliminary study on planting

benefit. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2021, 62(4): 730－732.
季卫英, 徐静, 王建红, 等. 菜用紫云英品种筛选季种植效益初探. 浙江农业科学, 2021, 62(4): 730－732.

[18] Zhou Q K. Study on characteristics of selenium accumulation in *Astragalus sinicus* L. Wuhu: Anhui Normal University, 2014.
周乾坤. 紫云英富硒特性研究. 芜湖: 安徽师范大学, 2014.

[19] Qiu X X, Zhang W G, Zhang H, *et al*. Production, nutrition and safety of young shoots of vegetable milk vetch. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2012, 27(6): 626－629.
邱孝煊, 张伟光, 张辉, 等. 菜用紫云英品种嫩梢产量、营养品质及卫生质量分析. 福建农业学报, 2012, 27(6): 626－629.

[20] Lan Z M, Lin X J, Zhang W G, *et al*. Analysis on nutrient composition in tender bines and leaves of vegetable-used *Astragalus sinicus* "Minzi No. 7". Fujian Agricultural Science and Technology, 2012(3/4): 108－110.
兰忠明, 林新坚, 张伟光, 等. 菜用紫云英"闽紫7号"嫩茎叶营养成分分析研究. 福建农业科技, 2012(3/4): 108－110.

[21] He C M, Lan Z M, Lin X J, *et al*. Selection and fertilization of *Astragalus sinicus* L. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2014, 29(4): 334－338.
何春梅, 兰忠明, 林新坚, 等. 菜用紫云英品种筛选及高效施肥模式研究. 福建农业学报, 2014, 29(4): 334－338.

[22] Yang Y X, Wang G Y, Pan X C. Handbook of nutritional composition analysis of common foods. Beijing: China Light Industry Press, 2002.
杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 实用食物营养成分分析手册. 北京: 中国轻工业出版社, 2002.

[23] Zhang W J. Biochemical research technology of glycoconjugates. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1999.
张惟杰. 糖复合物生化研究技术. 杭州: 浙江大学出版社, 1999.

[24] Cao J K, Jiang W B, Zhao Y M. Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables: a laboratory manual. Beijing: China Light Industry Press, 2017.
曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社, 2017.

[25] Deng B, He H K. Atomic absorption spectroscopy analysis. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
邓勃, 何华焜. 原子吸收光谱分析. 北京: 化学工业出版社, 2004.

[26] Lu R K. Soil agrochemical analysis methods. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[27] Shi H F, Guo Z F. Advances in research on germplasm resources and genetic breeding of *Astragalus sinicus*. Pratacultural Science, 2020, 37(12): 2507－2519.
施海帆, 郭振飞. 紫云英种质资源与遗传育种研究进展. 草业科学, 2020, 37(12): 2507－2519.

[28] Ye H Y, Liu C L, He C M, *et al*. Growth characteristics of *Astragalus sinicus* L. varieties. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2022, 37(2): 258－266.
叶红云, 刘彩玲, 何春梅, 等. 20个紫云英品种不同生育期的生长性状分析与评价. 福建农业学报, 2022, 37(2): 258－266.

[29] Ma T, Wu G L, He Y L, *et al*. The effect of simulated mowing of the fertilizing level on community production and compensatory responses on the Qinghai-Tibetan. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6): 2288－2293.
马涛, 武高林, 何彦龙, 等. 青藏高原东部高寒草甸群落生物量和补偿能力对施肥与刈割的响应. 生态学报, 2007, 27(6): 2288－2293.

[30] Yu Y W, Jiang W L, Xu Z, *et al*. Effects of cutting on dynamics of tiller and leaves regrowth for perennial ryegrass and its productivity. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2002, 22(4): 900－906.
于应文, 蒋文兰, 徐震, 等. 刈割对多年生黑麦草分蘖与叶片生长动态及生产力的影响. 西北植物学报, 2002, 22(4): 900－906.

[31] Wang X, Yang L Q, Lei J Y, *et al*. Regrowth and biomass allocation of dual-purpose winter wheat under two clipping heights. Pratacultural Science, 2017, 34(10): 2109－2116.
王茜, 杨丽群, 雷家运, 等. 刈割高度对冬小麦再生及生物量分配的影响. 草业科学, 2017, 34(10): 2109－2116.

[32] Wei Y X, Lu J W, Li X K, *et al*. Comparison of different Chinese milk vetch varieties under double rice cropping system of Hubei province. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012(6): 93－97.
魏云霞, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 湖北省不同双季稻区适宜紫云英品种比较研究. 中国土壤与肥料, 2012(6): 93－97.

[33] Zhang M, Shi P F, Li B Y, *et al*. Phenotypic diversity and podding characteristics of 70 Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*) germplasm lines cultivated in southern Henan. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(3): 168－180.
张梦, 史鹏飞, 李本银, 等. 70份紫云英种质资源表型多样性及其在豫南地区的结实特征. 草业学报, 2022, 31(3):

168－180.

[34] Liu Y, Guo X S, Wang Y Q, *et al*. Comparative study on yield and quality performance of new Chinese milk vetch varieties. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(6): 2448－2449, 2451.
刘英, 郭熙盛, 王允青, 等. 紫云英新品种高产优质比较研究. 安徽农业科学, 2013, 41(6): 2448－2449, 2451.

[35] Li Y B, Tao F L. Interactions of genotype, environment and management on wheat traits and grain yield variations in different climate zones across China. Agricultural Systems, 2022, 203: 103521.

[36] Shao Y, Guo Y P, Zhou B Y, *et al*. Analysis of genotype×environment interaction and stability of yield components in faba bean lines. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(1): 149－160.
邵扬, 郭延平, 周丙月, 等. 蚕豆产量组分的基因型与环境互作及稳定性分析. 作物学报, 2024, 50(1): 149－160.