

甘薯品种抗旱适应性综合评价的方法研究

张明生^{1,2}, 刘志³, 戚金亮¹, 张丽霞², 杨永华^{1*}

(1. 南京大学生命科学学院, 南京 210093; 2. 贵州大学农学院, 贵阳 550025; 3. 湖南农业大学生物技术系, 长沙 410128)

摘要:在对水分胁迫下甘薯形态、生长势、生理生化 and 产量性状等指标与品种抗旱性进行相关分析的基础上, 采用抗旱系数法、聚类分析法、隶属函数法对品种抗旱适应性予以综合评价。综合评价的结果, 将 15 个供试甘薯品种按抗旱水平由弱到强划分为不抗(农大红、漳薯 1 号、8908-383)、低抗(宿芋 1 号、9318-58、渝苏 303、89-1、95-411-153、西蒙 1 号)、中抗(92-111-107、渝薯 34、南薯 88、92-103-30)和高抗(Y₃、潮薯 1 号)四级。上述几种关于甘薯品种抗旱适应性综合评价的方法具有较好的一致性。

关键词:甘薯; 水分胁迫; 抗旱适应性; 综合评价

中图分类号: S531.037

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2005)06-0469-06

Methods of Comprehensive Evaluation for Drought Resistance in Sweet Potato Cultivars

ZHANG Ming-sheng^{1,2}, LIU Zhi³, QI Jin-liang¹, ZHANG Li-xia², YANG Yong-hua^{1*}

(1. The College of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Agricultural College, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Department of Biological Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The methods of drought coefficient, cluster analysis and subordinate function were used in comprehensive evaluation for drought resistance adaptability in sweet potato cultivars. The tested components included morphological characters, plant growth, economic traits, physiological and biochemical values in the cultivars grown under water stress. On the basis of correlation analysis between the drought resistance indices obtained from the above-mentioned components and the drought resistance in cultivars, it was shown that 15 tested cultivars could be divided into four classes of tolerance. Most tolerant cultivars were Y₃ and Chaoshu 1, followed by 92-111-107, Yushu 34, Nanshu 88 and 92-103-30. Less tolerant were Suyu 1, 9318-58, Yusu 303, 89-1, 95-411-153 and Ximeng. The rest 3 cultivars were not tolerate at all. Above several comprehensive evaluation methods for drought resistance adaptability in sweet potato cultivars are well coincident.

Key words: Sweet potato; Water stress; Drought resistance; Comprehensive evaluation

作物的抗旱适应性是一个复杂的综合性状, 主要由耐旱性和避旱性相互作用构成, 且受多种因素影响。近年来, 国内外学者在群体、个体、器官、细胞、亚细胞和分子水平上对多种作物抗旱适应性的形成进行了比较深入的研究^[1-5], 并提出了各种抗旱鉴定与评价的方法和指标, 而且日益强调抗旱性的

综合评价。在甘薯的抗旱生理方面, 研究者们虽已作了大量富有成效的工作^[6-14], 但对其品种抗旱性的系统评价研究尚不深入。本文作者在对水分胁迫下甘薯各抗旱指标及其与品种抗旱性关系的广泛研究基础上^[8-12], 采用抗旱系数法^[8,15]、聚类分析法^[13]、隶属函数法^[14]对其品种抗旱适应性进行了较为全

收稿日期: 2005-05-10 接受日期: 2005-09-12

基金项目: 国家“九五”科技攻关项目(96-002-02-17)资助

面、系统的综合评价研究,旨在为其抗旱育种及种质资源鉴定与筛选提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料及处理

选用重庆市甘薯研究中心提供的 15 个甘薯 (*Ipomoea batatas* Lam.) 品种:农大红、漳薯 1 号、8908-383、宿芋 1 号、9318-58、渝苏 303、89-1、95-411-153、西蒙 1 号、92-111-107、渝薯 34、南薯 88、Y₃、92-103-30 及潮薯 1 号。试验中设置干旱处理和对照,小区 5 m²,8 株 m²,保护行 3 行,干旱处理和对照各品种均设 5 个重复。在栽插薯苗前将旱池装上防雨棚,栽插薯苗时按预先设计的降水量(模拟降水量控制在 200 mm)将旱池土壤均匀灌水,整个生育期(6-10 月)内遇雨时旱池必须盖密防雨棚,土壤含水率(占土干重)控制在 6%-10% 范围内,直到收获;对照池保持自然环境条件。试验持续 2 年(1997 年、1998 年试验所在地 6-10 月的自然降水总量分别为 582.1 mm 和 867.8 mm),整体重复 2 次。在对试验结果进行分析时,所有指标均用 2 年的平均值。

1.2 方法

水分胁迫下甘薯各抗旱指标按参考文献[8-12]及其所列相关文献的方法进行测定。

品种抗旱性综合评价时,抗旱系数的计算参照钮福祥等^[15]的方法;聚类分析采用 SPSS10.0 for windows 统计分析软件中的系统聚类分析程序;隶属函数分析参照谈锋等^[14]的方法进行。

2 结果和分析

2.1 品种实际抗旱性评定—抗旱系数法

不同甘薯品种对于干旱(水分胁迫)的反应,最终表现在薯块产量上,即抗旱系数是品种抗旱性的综合体现。本研究将所测得的 15 个甘薯品种抗旱系数扩展到[0.000, 1.000]闭区间上(表 1),然后按四级划分标准^[8,9](即在上述闭区间内,每隔 0.250 划分一级)评定各品种的实际抗旱性,结果为:不抗品种—农大红、漳薯 1 号、8908-383、宿芋 1 号、9318-58、渝苏 303、89-1;低抗品种—95-411-153、西蒙 1 号;中抗品种—92-111-107、渝薯 34、南薯 88、

Y₃; 高抗品种—92-103-30、潮薯 1 号。

2.2 品种抗旱适应性的聚类分析

本研究将抗旱系数作为代表各甘薯品种抗旱性强弱的指标与测定的数十项指标进行了相关性分析,并选择与品种抗旱性密切相关的 30 个抗旱指标作为被分析的变量(表 1),表 2 是水分胁迫下 15 个供试甘薯品种 30 个测定指标相对值(即干旱处理占对照百分率,下同),由此构成聚类分析的原始数据矩阵。然后采用数据标准化的数据转换方法、绝对值距离相似尺度、最长距离法进行系统聚类分析,得到聚类谱系图(图 1)。由图 1 可以看出,当距离相似尺度取 27.20 阈值时,可将 15 个品种按抗旱性由弱到强聚成 4 类:第一类为不抗品种,包括农大红、漳薯 1 号、8908-383;第二类为低抗品种,包括宿芋 1 号、9318-58、渝苏 303、89-1、95-411-153、西蒙 1 号;第三类为中抗品种,有 92-111-107、渝薯 34、南薯 88、92-103-30;第四类为高抗品种,它们是 Y₃ 和潮薯 1 号。这一结果很大程度上与采用抗旱系数法为品种抗旱性分级(表 1)一致。

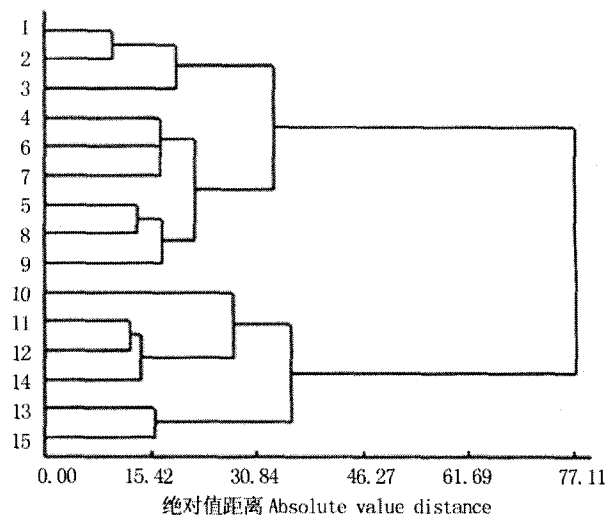


图 1 15 个甘薯品种抗旱性的系统聚类谱系图

Fig. 1 Dendrogram of cluster analysis based on drought resistance data from 15 sweet potato cultivars

图中纵轴编号 1-15 对应于表 1 列出的各个品种。No. 1-15 in figure correspond with the cultivars in Table 1.

2.3 抗旱适应性的隶属函数分析

本研究计算了各抗旱指标测定值与品种抗旱

表1 供试品种及其抗旱适应性综合评价的相关指标
Table 1 Correlated indices of comprehensive evaluation for drought resistance adaptability in sweet potato varieties

供试品种及其对应指标 Correlated indices			抗旱指标与抗旱系数间的相关系数及其权重 Correlation coefficients between drought resistance indices and drought coefficient and the index weight			
品种号 No.	品种名称 Cultivars	抗旱系数 Drought coefficient	隶属函数加权 平均值 Weighted mean	测试组分 Test components	相关系数 ²⁾ Correlation coefficient	指标权重 ³⁾ Index weight
1	农大红 Nongdahong	0.420 (0.000) ¹⁾	0.0929	脱落酸 Abscisic acid (ABA)	-0.9117**	0.0374
2	漳薯1号 Zhangshu 1	0.427 (0.041)	0.1425	三磷酸腺苷 Adenosine triphosphate (ATP)	0.8200**	0.0337
3	8908-383	0.430 (0.059)	0.1135	分枝数 Branch number (BN)	0.5566*	0.0229
4	宿芋1号 Suyu 1	0.440 (0.118)	0.3433	过氧化氢酶 Catalase (CAT)	0.9613**	0.0395
5	9318-58	0.441 (0.124)	0.3496	叶绿素a/b Chlorophyll a/b (Chl a/b)	-0.8509**	0.0349
6	渝苏303 Yusu 303	0.445 (0.148)	0.3435	离体叶片失水速率 Cut-leaf loss water rate (CLWR)	-0.5450*	0.0224
7	89-1	0.449 (0.172)	0.3233	经济系数 Economic coefficient (EC)	0.7640**	0.0314
8	95-411-153	0.463 (0.254)	0.4219	薯块干旱率 Earthenut drying rate (EDR)	0.5730*	0.0235
9	西蒙1号 Ximeng 1	0.467 (0.278)	0.4055	总游离氨基酸 Free amino acid gross (FAG)	0.9229**	0.0379
10	92-111-107	0.507 (0.515)	0.5706	赤霉素 Gibberellin (GA ₃)	-0.9493**	0.0390
11	渝薯34 Yushu 34	0.526 (0.627)	0.6785	吲哚乙酸 Indole acetic acid (IAA)	-0.9070**	0.0373
12	南薯88 Nanshu 88	0.530 (0.651)	0.7711	节间长 Internode length (IL)	-0.7337**	0.0301
13	Y ₃	0.541 (0.716)	0.8944	异戊烯基腺苷 Isopentenyl adenosine (IPA)	-0.9509**	0.0391
14	92-103-30	0.563 (0.846)	0.7301	钾离子 Potassium ion (K ⁺)	0.8359**	0.0343
15	潮薯1号 Chaoshu 1	0.589 (1.000)	0.9213	叶面积指数 Leaf area index (LAI)	0.5898*	0.0242
				丙二醛 Malondialdehyde (MDA)	-0.8362**	0.0343
				主蔓长 Main vine length (MVL)	-0.7216**	0.0296
				超氧化物阴离子自由基 Peroxide neegative ion (O ₂ ⁻)	-0.7728**	0.0317
				过氧化氢酶 Peroxidase (POD)	0.8226**	0.0338
				栅栏组织 Paisade tissue (PT)	0.9352**	0.0384
				质膜相对透性 Relative penetration of plasmalemma (RPP)	-0.8937**	0.0367
				相对含水量 Relative water content (RWC)	0.9080**	0.0373
				比叶面积 Specific leaf area (SLA)	-0.5289*	0.0217
				超氧化物歧化酶 Superoxide dismutase (SOD)	0.9519**	0.0391
				可溶性蛋白质 Soluble protein (SPR)	0.8968**	0.0368
				可溶性糖 Soluble sugar (SSug)	0.9374**	0.0385
				维生素C Vitamin C (Vc)	0.9230**	0.0379
				自由水/束缚水 Free water/Bound water (W _f /W _b)	-0.8015**	0.0329
				水分饱和和亏 Water saturation deficit (WSD)	-0.6797**	0.0279
				玉米素核苷 Zeatin riboside (ZR)	-0.8674**	0.0356

1) 括号内的数据是抗旱系数在[0.000, 1.000]内的扩展值。Data in brackets are the extensional value of drought coefficient within [0.000, 1.000];

2) r 为各指标相对值与品种抗旱性间的相关系数, *、** 分别表示显著 (P<0.05) 和极显著 (P<0.01) 水平。

r represents correlation coefficient between relative value of each index and drought resistance of cultivar. * and ** indicate significance at p=0.05 and 0.01, respectively.

3) 权重按 $r_j / \sum_{j=1}^n |r_j|$ 求出。Weight = $r_j / \sum_{j=1}^n |r_j|$

表 2 供试品种各测试组分的指标相对值 *
Table 2 Relative value* of indices from tested components in sweet potato cultivars

品种 Cultivars	测试组分 Tested components																													
	MVL	BN	IL	PT	LAI	SLA	Chla/b	SPt	ATP	RWC	WSD	W/W ₀	CLWR	K ⁺	FAG	SSug	IAA	GA ₃	IPA	ZR	ABA	POD	SOD	CAT	Vc	MDA	O ₂ ⁻	RPP	EDR	EC
农大红	68.43	86.79	96.25	105.20	84.56	93.31	95.76	110.57	46.64	75.26	712.53	77.54	54.12	59.51	121.95	119.18	94.54	92.69	92.68	83.87	330.12	107.34	108.91	46.73	109.74	194.43	210.92	151.30	106.05	70.26
Nongdabong																														
漳薯1号	80.40	85.26	94.97	106.34	85.29	89.76	92.54	116.05	54.27	80.46	821.94	67.63	35.36	60.75	126.15	111.95	92.71	91.94	92.76	85.31	337.14	102.89	106.19	52.66	113.04	187.70	194.75	150.44	108.27	80.25
Zhangshu 1																														
8908-383	56.56	17.95	68.85	102.38	52.78	83.34	97.97	114.31	54.86	82.18	978.37	74.02	61.11	60.53	130.46	116.01	92.22	93.37	91.11	84.94	315.03	106.83	105.15	64.14	124.33	197.47	193.13	156.48	112.18	65.58
宿丰1号	66.71	52.38	78.13	109.25	77.34	90.80	92.81	145.70	64.31	85.52	718.44	57.92	39.06	60.98	141.33	117.29	84.77	83.78	86.61	79.41	239.23	167.45	117.26	67.22	116.13	137.47	139.50	141.36	115.43	76.45
Suyu 1																														
9318-58	56.41	86.21	72.52	111.56	83.88	86.16	89.00	133.64	42.12	85.61	587.14	52.52	41.54	61.56	148.73	122.75	84.69	81.17	88.51	82.33	322.88	157.16	112.27	71.67	145.45	157.79	178.82	136.69	100.62	81.06
渝苏303	48.02	80.89	61.18	109.89	65.79	74.24	96.67	139.80	75.26	84.25	431.56	50.01	40.10	61.90	136.00	128.72	88.46	85.62	87.44	85.04	283.18	136.29	112.13	68.13	121.74	142.42	161.67	141.85	101.56	71.84
Yusu 303																														
89-1	85.50	90.00	70.72	109.68	89.57	86.60	85.42	134.41	85.79	84.63	605.76	48.85	43.03	60.87	134.55	128.55	90.40	86.47	89.87	79.35	318.32	128.25	124.23	75.15	116.51	165.02	137.93	149.36	106.74	77.27
95-411-153	50.66	85.87	73.82	115.58	83.37	79.18	92.26	122.48	107.55	85.15	415.35	43.21	44.47	62.61	140.41	143.09	82.35	82.22	88.12	78.93	260.16	164.79	119.36	76.61	139.13	163.01	202.53	139.07	110.31	83.55
西蒙1号	32.97	64.29	81.63	108.37	83.25	82.92	89.30	132.64	48.00	83.57	386.72	43.23	36.36	60.52	168.84	141.98	81.47	82.64	82.19	73.40	249.77	114.45	113.75	77.34	124.60	151.84	168.89	133.35	102.51	52.59
Ximeng 1																														
92-111-107	37.60	89.65	65.57	117.65	85.55	70.85	87.08	151.34	117.28	89.39	504.47	47.16	53.02	63.90	145.36	140.87	79.61	78.75	83.26	80.10	242.18	150.03	146.05	86.75	158.12	149.92	141.58	134.77	163.68	109.67
渝薯34	39.92	108.95	58.66	116.18	95.88	86.97	81.56	169.53	89.30	91.25	492.68	30.98	32.79	63.08	174.96	142.61	78.76	73.83	73.28	68.32	215.46	184.83	177.97	94.87	171.68	125.65	133.54	130.57	110.47	94.88
Yushu 34																														
南薯88	36.16	112.00	55.19	120.00	94.58	88.48	82.74	189.57	118.22	92.99	255.49	40.19	22.22	64.63	189.74	152.43	76.50	74.94	71.69	65.24	195.80	179.15	170.58	106.57	181.50	124.32	124.98	124.18	129.25	96.59
Nanshu 88																														
Y ₃	22.54	66.67	42.93	122.45	89.02	73.48	78.69	184.14	128.66	90.04	370.23	38.73	15.63	69.94	200.71	151.98	74.63	71.44	66.59	55.15	186.37	201.93	219.35	118.81	188.83	133.56	126.48	123.09	148.14	152.05
92-103-30	49.74	98.57	65.12	125.34	90.85	81.97	83.60	162.76	101.67	92.37	353.04	35.84	48.57	63.67	185.60	158.16	76.99	70.44	70.42	67.34	189.74	169.55	190.36	106.34	162.50	121.55	141.94	126.02	120.31	109.25
潮薯1号	28.57	115.25	55.38	123.58	92.25	71.13	81.34	188.57	126.92	94.36	447.88	36.79	23.21	73.69	206.90	164.93	74.28	67.08	68.67	64.56	175.47	218.19	213.83	124.66	195.66	110.45	112.15	122.21	125.98	113.35
Chaoshu 1																														

* 指标相对值指指标的平均值占对照的%。 Relative value of indices=percentage of mean value of the control in tested components.

性间的线性相关系数和相应的指标权数(表 1),以后者表示各项指标的内涵对品种抗旱性的贡献率。然后按下列公式计算出与抗旱指标测定值相对应的隶属函数值(表略)及其加权平均值(表 1)。相关系数为正值的项目按(1)式计算,负值的则按(2)式计算。

$$X(u) = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

$$\text{或 } X(u) = 1 - \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

式中, $X(u)$ 表示各品种某一指标的隶属函数值, X 为各品种的某一指标测定值, X_{max} 和 X_{min} 分别为所有品种中此指标的最大值和最小值。

根据各指标的权数将各品种的隶属函数值进行加权平均,以此作为各品种抗旱性综合评定的标准。以各品种抗旱性与抗旱指标隶属函数的加权平均值进行线性回归分析和相关系数的显著性检验,结果表明抗旱指标隶属函数的加权平均值与品种的抗旱性之间存在极显著的正相关(图 2)。由此说明:(1)将所测各项抗旱指标按隶属函数法综合评定甘薯品种抗旱性是符合客观实际的,而用任何单一的形态、生长势或生理生化指标都很难比较不同品种的抗旱性;(2)根据各指标与抗旱性的相关系数及其加权数(表 1),可以看出它们对甘薯品种抗旱适应性形成的贡献率是不同的,其中 IAA、GA3、iPA、ABA、PT、RWC、SOD、CAT、Vc、Ssug、FAG 11 项指标的累计贡献率达 42.14%, 对抗旱性贡献最大。这是因为植株感受到外界环境水分胁迫信号后,体内促进生长的激素 (IAA、GA、iPA) 含量降低而抑制生长的激素 (ABA) 含量增加^[9],使植株的生长势得到有效控制;总游离氨基酸 (FAG) 含量增加,能增强植株的渗透调节能力;RWC 下降幅度不大的植株能维持较大的膨压和一定的水势;SOD、CAT 活性及 Vc 含量的增加,使膜保护系统得以加强;而栅栏组织 (PT) 增厚,则大大增强了植株的光合能力。通过这些抗旱主导因素的相互作用,综合协调,使甘薯抗旱适应性得以形成。

根据各抗旱指标隶属函数的加权平均值,按 (0.0000, 0.2500)、(0.2500, 0.5000)、(0.5000, 0.7500) 及 (0.7500, 1.0000) 四级划分标准,可把 15 个供试品种按抗旱性强弱分为四级:不抗品种—农大红、漳薯 1 号、8908-383;低抗品种—宿芋 1 号、9318-58、渝苏 303、89-1、95-411-153、西蒙 1 号;中

抗品种—92-111-107、渝薯 34、92-103-30;高抗品种—南薯 88、Y₃ 和潮薯 1 号。这与系统聚类得出的结果几乎完全一致。

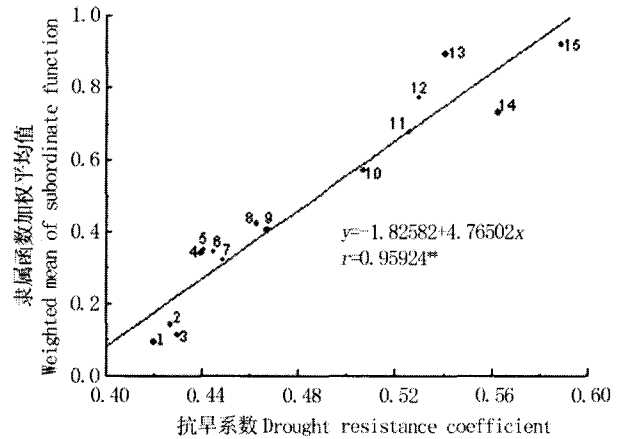


图 2 供试品种抗旱性与抗旱指标隶属函数加权平均值间的关系
Fig. 2 The relationship between drought resistance and weighted mean of subordinate function of drought resistance indices in test cultivars
图中坐标点 1-15 对应于表 1 列出的各个品种。Coordinate dots 1-15 in the figure correspond with the cultivars in Table 1.

3 结论

综合上述 3 种抗旱适应性系统分析与评价方法,并结合品种实际抗旱性测定结果,我们将 15 个供试甘薯品种按抗旱水平分为四级:

不抗品种—农大红、漳薯 1 号、8908-383;

低抗品种—宿芋 1 号、9318-58、渝苏 303、89-1、95-411-153、西蒙 1 号;

中抗品种—92-111-107、渝薯 34、南薯 88、92-103-30;

高抗品种—Y₃、潮薯 1 号。

参考文献

[1] Subbarao G V, Chauhan Y S, Johansen C. Patterns of osmotic adjustment in pigeonpea — its importance as a mechanism of drought resistance [J]. *Europ J Agron*, 2000, 12:239-249.
[2] Ruiz M C, Domingo R, Torrecillas A, et al. Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants [J]. *Plant Sci*, 2000, 156:245-251.
[3] Li Y(黎裕). The identification method and index for crop drought resistance [J]. *Agri Res Arid Areas (干旱地区农业研究)*, 1993, 11 (1):91-99. (in Chinese)
[4] Aspinell D, Paleg L G. *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistant in Plants* [M]. Sydney: Academic Press, 1980.

- 205-241.
- [5] Wang H Y, Huang Y C, Chen S F, et al. Molecular cloning, characterization and gene expression of a water deficiency and chilling induced proteinase inhibitor I gene family from sweet potato leaves [J]. *Plant Sci*, 2003, 165(1):191-203.
- [6] Gomes F, Carr M K V. Effects of water availability and vine harvesting frequency on the productivity of sweet potato in southern Mozambique. II. Crop water use [J]. *Exp Agri*, 2003, 39(1):39-54.
- [7] Kubota F. The effects of drought stress and leaf ageing on leaf photosynthesis and electron transport in photosystem 2 in sweet potato cultivars [J]. *Photosynthetica*, 2003, 41(2):253-258.
- [8] Zhang M S (张明生), Tan F (谈锋), Zhang Q T (张启堂). Physiological indices of rapid identification for sweet potato drought resistance and selection of methods [J]. *Sci Agri Sin (中国农业科学)*, 2001, 34(3):260-265. (in Chinese)
- [9] Zhang M S, Xie B, Tan F. Relationship between changes of endogenous hormone in sweet potato under water stress and variety drought-resistance [J]. *Agri Sci in China*, 2002, 1(6):626-630.
- [10] Zhang M S, Xie B, Tan F, et al. Relationship between soluble protein, chlorophyll and ATP in drought-resistant sweet potato under water stress [J]. *Agri Sci in China*, 2002, 1(12):1329-1333.
- [11] Zhang M S(张明生), Tan F(谈锋), Xie B(谢波), et al. Relationship of peroxidation of membrane-lipid and membrane protection system in sweet potato under water stress with drought resistance [J]. *Sci Agri Sin (中国农业科学)*, 2003, 36(11):1395-1398. (in Chinese)
- [12] Zhang M S (张明生), Peng Z H (彭忠华), Xie B (谢波), et al. Relationship between water loss rate of cutting leaves and osmotic regulators under water stress and drought resistance in sweet potato [J]. *Sci Agri Sin (中国农业科学)*, 2004, 37(1):152-156. (in Chinese)
- [13] Lu W D. SPSS for Windows, 2nd ed. [M] Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 338-399.
- [14] Tan F(谈锋), Zhang Q T (张启堂), Chen J (陈京), et al. Quantity analysis on drought resistant adaptability of sweet potato cultivars [J]. *Acta Agron Sin (作物学报)*, 1991, 17(5):394-398. (in Chinese)
- [15] Niu F X (钮福祥), Hua X X (华希新), Guo X D (郭小丁), et al. Studies on several physiological indexes of the drought resistance of Sweet Potato and Its comprehensive evaluation [J]. *Acta Agron Sin*, 1996, 22(4):392-398. (in Chinese)