

网络出版时间:2018-12-04 10:11

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2019.06.011

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20181204.1010.022.html

不同葡萄品种叶绿素荧光参数的高温响应及其耐热性评价

吴久赞^{1,2}, 廉苇佳¹, 刘志刚¹, 曾晓燕², 姜建福³, 魏亦农²

(1 新疆农业科学院 吐鲁番农业科学研究所, 新疆 吐鲁番 838000; 2 石河子大学 农学院, 新疆 石河子 832000;
3 中国农业科学院 郑州果树研究所, 河南 郑州 450009)

【摘要】【目的】研究 19 个葡萄品种叶绿素荧光参数对高温的响应表现, 并对其耐热性进行分析和评价, 为吐鲁番耐热葡萄品种的选育及其耐热机理研究提供依据。【方法】以新疆农业科学院吐鲁番农业科学研究所葡萄资源圃的 19 个葡萄品种为试验材料, 在吐鲁番的自然高温条件下, 利用快速荧光测定仪(Handy-PEA)测定葡萄叶片的 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 、 PI_{ABS} 、 DI_0/CS_0 、 $\Phi PS II$ 、 φE_0 、 ETR 、 qP 等 10 个主要荧光参数, 分析不同品种葡萄叶绿素荧光参数在高温下的表现, 采用模糊隶属函数法结合有序样本最优分割聚类法对其耐热性进行评价。【结果】19 个葡萄品种的叶绿素荧光参数在高温下均受显著影响, 导致光能转化效率降低, 其耐热性综合评价结果为美人指>矢富罗莎>金田蜜>红地球>金田玫瑰>藤稔>红旗特早玫瑰>无核白>和田黄>巨玫瑰>克瑞森无核>贝达>巨峰>木纳格>乍娜(绯红)>维多利亚>里扎马特>无核白鸡心>水晶无核。采用有序样本最优分割聚类法分析发现, 美人指、矢富罗莎、金田蜜、红地球、金田玫瑰、藤稔属耐热性较强的葡萄品种。【结论】筛选出了适宜在吐鲁番地区种植的耐热性较强的 6 个葡萄品种。

【关键词】 葡萄品种; 叶绿素荧光参数; 高温响应; 耐热性

【中图分类号】 S663.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)06-0080-09

High temperature response of chlorophyll fluorescence parameters and heat tolerance evaluation of different grape cultivars

WU Jiuyun^{1,2}, LIAN Weijia¹, LIU Zhigang¹, ZENG Xiaoyan²,
JIANG Jianfu³, WEI Yinong²

(1 Turpan Research Institute of Agricultural Sciences, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences,

Turpan, Xinjiang 838000, China; 2 College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

3 Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450009, China)

Abstract: 【Objective】This study investigated high temperature response of chlorophyll fluorescence of different grape cultivars and evaluated heat tolerance for 19 grape cultivars to provide basis for breeding heat tolerant grapes and studying heat tolerant mechanisms of grapes in Turpan. 【Method】A total of 19 grape varieties from Turpan Research Institute of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences were selected. The chlorophyll fluorescence characteristic parameters including F_0 , F_m , F_v/F_0 , F_v/F_m , PI_{ABS} , DI_0/CS_0 , $\Phi PS II$, φE_0 , ETR and qP in leaves of grape were determined by rapid fluorescence detector (Handy-

【收稿日期】 2018-04-27

【基金项目】 新疆农业科学院青年基金项目“吐鲁番葡萄的耐热性分析评价”(xjnkq-2017012); 新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务费资助项目“新疆葡萄资源收集、整理与评价”(KYG2016130); 农业部农业基础性长期性科技工作项目“国家作物种质资源数据中心观测监测”(ZX01S3221)

【作者简介】 吴久赞(1988—), 男, 重庆人, 助理研究员, 主要从事葡萄育种与栽培研究。E-mail: kobewjy@163.com

【通信作者】 魏亦农(1964—), 男, 山西孝义人, 教授, 主要从事作物高产、优质、抗性性状的遗传育种研究。
E-mail: weiyinong@163.com

PEA) under the natural high temperature condition in Turpan. The responses of these parameters to high temperature were analyzed and compared among different grape cultivars. The fuzzy membership function analysis method and the sample optimal segmentation clustering method were then used to evaluate the heat tolerance. 【Result】 The chlorophyll fluorescence parameters of all 19 cultivars were affected significantly by high temperature with decreased light energy transformation rate. The comprehensive scores were in the order of ‘Manicule finger’ > ‘Yatomi Rosa’ > ‘Jintianmi’ > ‘Red Globe’ > ‘Jintian Meigui’ > ‘Fujiminori’ > ‘Hongqi Tezaomeigui’ > ‘Thompson Seedless’ > ‘Hetianhuang’ > ‘Jumeigui’ > ‘Crimson Seedless’ > ‘Beta’ > ‘Kyoho’ > ‘Munage’ > ‘Cardinal’ > ‘Victoria’ > ‘Rizamat’ > ‘Centennial Seedless’ > ‘Shuijing Wuhe’. The sample optimal segmentation clustering method with classification standard showed that ‘Manicule finger’, ‘Yatomi Rosa’, ‘Jintianmi’, ‘Red Globe’, ‘Jintian Meigui’ and ‘Fujiminori’ had strong heat tolerance. 【Conclusion】 Six grape varieties with strong heat tolerance suitable for cultivation in Turpan area were selected.

Key words: grape cultivars; chlorophyll fluorescence parameter; high temperature response; heat tolerance

葡萄(*Vitis* L.)是世界上分布最广的果树之一,在我国农业经济中占据着重要地位^[1-2]。新疆吐鲁番因丰富的光热资源成为我国重要的葡萄产区,葡萄栽培面积达3.61万hm²,但高温掣肘了当地葡萄产业的发展,尤其是吐鲁番35℃以上的天气年均超过100d,其中40℃以上的天气年均超过35d^[3-6]。持续的高温将导致葡萄叶片失水干枯甚至死亡,并严重影响葡萄的光合作用^[7-9],降低葡萄的产量和品质。随着全球平均温度的不断升高^[10],高温对葡萄的影响日趋显著,因此,亟需开展相关研究,为耐热葡萄品种的选育提供科学依据。关于高温对葡萄的影响前人已做过一些研究。如查倩等^[11]研究发现,‘巨玫瑰’葡萄在42℃时叶绿素荧光参数值表现异常,植株出现显著性伤害;Carvalho等^[12]研究发现,高温易对PSⅡ造成影响;孙永江等^[13-14]研究发现,高温对葡萄PSⅡ功能活性造成抑制,且强光导致高温胁迫下的PSⅡ功能抑制最明显,二者具有协同作用;姜建福等^[15]利用叶绿素荧光参数法对196份葡萄属(*Vitis* L.)种质资源的耐热性进行了鉴定评价;徐洪国^[16]测定了高温胁迫下3种葡萄叶片电解质渗透率、叶绿素荧光参数及光合放氧速率的变化情况,发现叶绿素荧光参数法更适用于葡萄耐高温的抗性鉴定。

但总体来看,前人研究均有一定的局限性,如试验中采用室内模拟高温胁迫条件,或葡萄品种数量较少,或采用离体测定叶绿素荧光等,难以客观真实反映高温环境条件下葡萄叶绿素荧光参数的变化特征。为此,在前人研究^[15-20]基础上,本研究利用吐鲁番独特的自然高温条件,采用活体测定19个葡萄品种的叶绿素荧光,分析不同品种葡萄叶绿素荧光对

高温的响应表现,并对其耐热性进行综合分析评价,以期对吐鲁番葡萄产区耐热葡萄品种的选育及其耐热机理研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试19份葡萄品种材料来源于新疆农业科学院吐鲁番农业科学研究所葡萄品种资源圃,品种资源圃位于89°18'E,42°53'N,海拔—50m,年平均温度17.6℃,年平均降水量16.4mm,年日照时数3109.2h,无霜期210d左右。19份葡萄品种名称、种性及亲本来源详见表1。棚架采用龙干形,架高1.5m,株行距1.0m×4.5m,东西行向,沟灌水,管理方式较粗放。

1.2 试验方法

1.2.1 试验地气温测定 于2017年6—8月,利用MicroLab Lite U盘式温度计,在新疆农业科学院吐鲁番葡萄资源圃内定点监测温度数据,每0.5h测定1次。

1.2.2 荧光特性测定 试验于2017年7月27日13:00—15:00进行,天气晴朗无风,空气温度43.46~44.60℃,相对湿度30.64%~48.36%,采用快速荧光测定仪 Handy-PEA(Hansatech,英国)对阳光直射的葡萄叶片(整枝自上而下的第5片叶)测定或计算 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 、 PI_{ABS} 、 DI_0/CS_0 、 $\Phi PSⅡ$ 、 φE_0 、 ETR 、 qP 等指标,每个品种测定6次。测定前用叶夹暗适应20min,荧光以3500μmol/(m²·s)的饱和光诱导^[19-20],实际光化学效率 $\Phi PSⅡ = (F_m' - F_s)/F_m'$, $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_0')$, $ETR = \Phi PSⅡ \times I \times a \times f$ 。其中 F_m' 为光下的

最大荧光强度, F_s 为稳态荧光产量强度, F_0' 为光下最小荧光强度, I 为光照强度, a 为吸收入射光的比例, 通常为 80%; f 为能量分布比例的估计值, C_3 植物通常为 50%。

表 1 供试葡萄品种及其亲本来源信息

Table 1 Information of grape cultivars and parental origins

编号 No.	品种 Cultivar	种性 Species	亲本 Parental origin (Female/Male)	编号 No.	品种 Cultivar	种性 Species	亲本 Parental origin (Female/Male)
1	矢富罗莎 Yatomi Rosa	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	亲本不详 Unknown	11	克瑞森无核 Crimson Seedless	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	皇帝×C33-199 Emperor×C33-199
2	水晶无核 Shuijing Wuhe	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	葡萄园皇后×底来特 Queen of Vineyard×Delight	12	贝达 Beta	<i>V. riparis</i> × <i>V. labrusca</i>	河岸葡萄 Carver×康可 Carver×Concord
3	里扎马特 Rizamat	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	可口甘×帕尔肯特 КаТТа Курган × Паркет	13	藤稔 Fujiminori	欧美杂种 <i>V. vinifera</i> × <i>V. labrusca</i>	红蜜(井川 682)×先锋 Hongmi×Pione
4	维多利亚 Victoria	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	绯红×保尔加尔 Cardinal×Bolgar	14	巨峰 Kyoho	欧美杂种 <i>V. vinifera</i> × <i>V. labrusca</i>	石原早生×森田尼 Ishiharawase×Centennial
5	乍娜(绯红) Cardinal	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	粉红葡萄×瑞必尔 Flame Tokay×Ribier	15	美人指 Manicure finger	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	优尼坤×巴拉蒂 Younikun×Baladi
6	无核白鸡心 Centennial Seedless	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	Gold×Q25-6	16	红地球 Red Globe	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	C12-80×S45-48
7	巨玫瑰 Jumeigui	欧美杂种 <i>V. vinifera</i> × <i>V. labrusca</i>	沈阳玫瑰×巨峰 Shenyang Meigui × Kyoho	17	金田玫瑰 Jintian Meigui	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	玫瑰香×红地球 Muscat Hamburg×Red Globe
8	木纳格 Munage	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	亲本不详 Unknown	18	金田蜜 Jintianmi	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	9603(里扎马特×红双 味)×9411(凤凰 51×紫 珍珠) 9603(Rizamat×Hongshuangwei) × 9411 (Fenghuang No. 51 × Zizhenzhu)
9	和田黄 Hetianhuang	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	亲本不详 Unknown	19	无核白 Thompson Seedless	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	亲本不详 Unknown
10	红旗特早玫瑰 Hongqi Tezaomeigui	欧亚种 <i>V. vinifera</i>	玫瑰香单株芽变 Muscat bud mutation				

1.2.3 耐热性评价 利用模糊隶属函数法^[21-26]对不同葡萄品种的叶绿素荧光参数进行分析, 分别对每项指标求隶属值, 公式如下:

$$R(X_i)=\frac{X_i-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}, \tag{1}$$

$$R(X_i)=1-\frac{X_i-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}, \tag{2}$$

$$AR=\sum_{i=1}^n X_i. \tag{3}$$

式中: X_i 为各指标测定值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为某项指标的最大值和最小值。如果某一指标性状与耐热性呈正相关, 则选用公式(1), 若呈负相关则用公式(2); 将各个指标隶属值进行累加用公式(3), 结合聚类分析进行耐热性评价^[15]。

1.3 数据处理

对试验数据进行方差分析, 以 LSD 法进行多重比较并检测差异显著性, 以 $P<0.05$ 为差异显著水平, $P<0.01$ 为差异极显著水平; 用 DPS 7.05 和 SPSS 19.0 进行相关分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 试验期间空气温度的变化情况

由图 1 可知, 吐鲁番 2017 年 7 月当月平均温度为 33.15℃, 平均日高温为 40.60℃, 最高温度为 45.20℃。试验当日平均温度为 35.05℃, 最高温度为 44.60℃, 最低温度为 28.2℃。

2.2 不同葡萄品种叶绿素荧光参数对高温的响应表现

2.2.1 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 初始荧光 F_0 反映类囊体膜的受损程度, F_0 越高, 表示类囊体膜受损越严重。最大荧光 F_m 反映通过 PSⅡ 的电子传递情况, F_m 越低, 表示热害程度越高。 F_v/F_0 表示 PSⅡ 的潜在活性, 反映 PSⅡ 中心的活性大小。最大光化学量子产量 F_v/F_m 表征 PSⅡ 中心的光能转换效率, 在非胁迫条件下 F_v/F_m 的平均值为 0.832 ± 0.004 ^[9,11]。由表 2 可知, 高温条件下, 水晶无核 F_0 最高, 为 464.667; 藤稔最低, 为 288.667; 其中水晶

无核、无核白鸡心、里扎马特极显著高于藤稔、红地球、金田蜜、矢富罗莎等品种。水晶无核 F_m 最低,为 1 047.000;无核白最高,为 1 819.667;其中水晶无核和无核白鸡心显著低于无核白、美人指、金田玫瑰等品种。美人指 F_v/F_0 最高,为 3.890;水晶无核最低,为 1.336,说明高温抑制了其 PSⅡ 反应中心的活性;其中美人指、红地球、矢富罗莎极显著高于水

晶无核、无核白鸡心、里扎马特等品种。19 个品种的 F_v/F_m 值均低于 0.832 ± 0.004 ,说明高温对各品种葡萄的光能转换效率均有不同程度的抑制作用,其中水晶无核最低,为 0.553;美人指最高,但也仅达 0.786,水晶无核和无核白鸡心极显著低于除里扎马特外的其他品种。

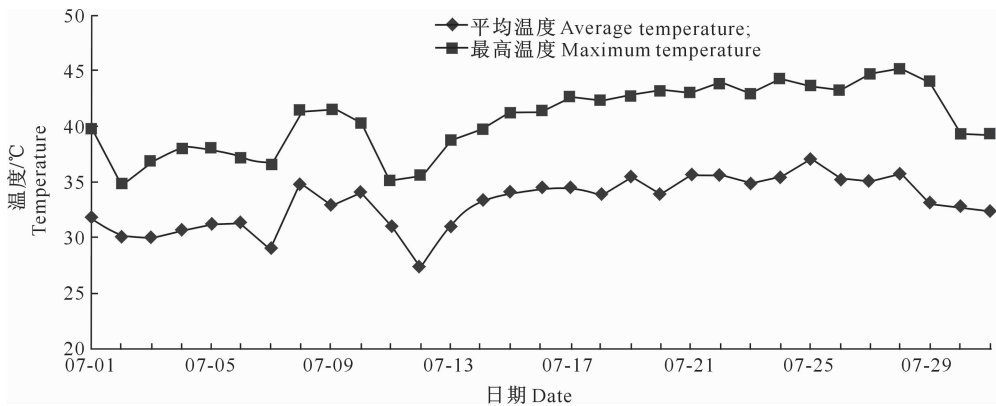


图 1 2017 年 7 月吐鲁番气温的变化情况
Fig.1 Daily temperature in July 2017 in Turpan

表 2 不同葡萄品种 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 的高温响应表现

Table 2 Response of F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 and F_v/F_m of different grape cultivars to high temperature

品种 Cultivar	F_0	F_m	F_v/F_0	F_v/F_m
矢富罗莎 Yatomi Rosa	312.667±20.008 deE	1 447.333±151.461 bcdeABC	3.662±0.778 abA	0.781±0.037 aA
水晶无核 Shuijing Wuhe	464.667±113.742 aA	1 047.000±114.530 fC	1.336±0.578 dD	0.553±0.115 dC
里扎马特 Rizamat	437.333±23.798 abABC	1 260.667±62.931 defBC	1.893±0.293 cdBCD	0.652±0.035 bcBC
维多利亚 Victoria	364.000±41.677 bcdeABCDE	1 384.667±59.214 bcdeBC	2.847±0.567 abcABC	0.736±0.043aAB
乍娜(绯红) Cardinal	354.333±28.290 cdeBCDE	1 372.667±216.694 bcdeBC	2.885±0.628 abcABC	0.738±0.046 aAB
无核白鸡心 Centennial Seedless	458.333±63.130 aAB	1 142.667±54.629 efC	1.530±0.423 dCD	0.598±0.062 cdC
巨玫瑰 Jumeigui	369.000±14.177 bcdABCDE	1 436.000±82.055 bcdeABC	2.901±0.365 abcABC	0.742±0.025 aAB
木纳格 Munage	368.000±38.040 bcdABCDE	1 371.000±148.970 bcdefBC	2.756±0.614 bcABCD	0.729±0.043 abAB
和田黄 Hetianhuang	343.667±39.526 deCDE	1 473.000±142.979 bcdABC	3.355±0.940 abAB	0.764±0.045 aA
红旗特早玫瑰 Hongqi Tezaomeigui	324.000±10.440 deDE	1 428.333±63.579 bcdeABC	3.416±0.333 abA	0.773±0.017 aA
克瑞森无核 Crimson Seedless	339.667±39.311 deCDE	1 245.667±80.164 defBC	2.720±0.697 bcABCD	0.725±0.047 abAB
贝达 Beta	343.667±44.004 deCDE	1 291.333±63.948 cdefBC	2.802±0.568 abcABCD	0.733±0.038 aAB
藤稔 Fujiminori	288.667±71.291 eE	1 306.000±438.599 cdefBC	3.492±0.909 abA	0.772±0.042 aA
巨峰 Kyoho	365.333±51.540 bcdeABCDE	1 426.000±140.114 bcdeABC	2.978±0.824 abcABC	0.740±0.060 aAB
美人指 Manicure finger	338.000±18.083 deCDE	1 638.000±348.237 abAB	3.890±1.292 aA	0.786±0.053 aA
红地球 Red Globe	291.667±30.600 deE	1 379.333±396.071 bcdeBC	3.685±0.979 abA	0.779±0.052 aA
金田玫瑰 Jintian Meigui	349.333±23.861 cdeCDE	1 604.000±107.531 abcAB	3.609±0.469 abA	0.781±0.024 aA
金田蜜 Jintianmi	312.000±23.896 deE	1 442.667±132.515 bcdeABC	3.621±0.109 abA	0.784±0.005 aA
无核白 Thompson Seedless	422.000±71.582 abcABCD	1 819.667±233.136 aA	3.342±0.444 abAB	0.768±0.023 aA

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下表同。
Note:Different lowercase letters in each column indicate significant difference($P<0.05$),and capital letters indicate extremely significant difference($P<0.01$). The same below.

2.2.2 PI_{ABS} 、 DI_0/CS_0 、 $\Phi PS II$ PI_{ABS} 是以吸收光能为基础的光化学性能指数, DI_0/CS_0 反映了 PS II 反应中心以热能消耗能量的比率, $\Phi PS II$ 为实际光化学效率,代表线性电子传递的量子效率。由表 3 可知,高温条件下,水晶无核 PI_{ABS} 值最低,为 0.112;矢富罗莎最高,为 2.964;其中水晶无核、无核白鸡心、里扎马特的 PI_{ABS} 值极显著低于矢富罗莎、美人指、金田蜜等品种,反映其光合活性较低。

表 3 不同葡萄品种 PI_{ABS} 、 DI_0/CS_0 、 $\Phi PS II$ 的高温响应表现
Table 3 Response of PI_{ABS} , DI_0/CS_0 and $\Phi PS II$ of different grape cultivars to high temperature

品种 Cultivar	PI_{ABS}	DI_0/CS_0	$\Phi PS II$
矢富罗莎 Yatomi Rosa	2.964±1.564 aA	68.859±16.196 dC	0.145±0.009 bcdefgBCD
水晶无核 Shuijing Wuhe	0.112±0.101 eD	215.806±108.951 aA	0.184±0.116 abcdeABCD
里扎马特 Rizamat	0.274±0.151 eCD	152.739±23.424 bcAB	0.106±0.031 fgCD
维多利亚 Victoria	0.994±0.471 cdeABCD	97.304±27.419 cdBC	0.172±0.028 bcdefABCD
乍娜(绯红) Cardinal	1.008±0.524 cdeABCD	93.217±19.425 dBC	0.184±0.043 abcdABCD
无核白鸡心 Centennial Seedless	0.168±0.111 eD	186.817±51.702 abA	0.244±0.036 aA
巨玫瑰 Jumeigui	1.040±0.440 cdeABCD	95.403±12.989 dBC	0.137±0.060 cdefgBCD
木纳格 Munage	0.791±0.450 deBCD	100.366±22.682 cdBC	0.133±0.031 cdefgBCD
和田黄 Hetianhuang	1.618±1.386 abcdeABCD	82.294±23.753 dBC	0.209±0.040 abAB
红旗特早玫瑰 Hongqi Tezaomeigui	1.307±0.614 bcdeABCD	73.767±7.688 dC	0.172±0.030 bcdefABCD
克瑞森无核 Crimson Seedless	1.203±0.957 cdeABCD	94.471±25.466 dBC	0.121±0.029 defgBCD
贝达 Beta	0.901±0.687 deBCD	92.728±24.343 dBC	0.115±0.038 efgCD
藤稔 Fujiminori	1.932±0.608 abcdABCD	65.452±19.629 dC	0.144±0.057 bcdefgBCD
巨峰 Kyoho	0.910±0.694 deBCD	96.800±35.932 cdBC	0.164±0.028 bcdefABCD
美人指 Manicure finger	2.770±2.478 abAB	72.906±21.912 dC	0.133±0.002 cdefgBCD
红地球 Red Globe	2.223±1.315 abcdABC	63.718±11.663 dC	0.187±0.002 abcdABCD
金田玫瑰 Jintian Meigui	1.379±0.450 bcdeABCD	76.637±12.563 dC	0.095±0.024 gD
金田蜜 Jintianmi	2.491±0.268 abcAB	67.499±4.410 dC	0.192±0.017 abcABC
无核白 Thompson Seedless	1.133±0.491 cdeABCD	98.527±24.406 cdBC	0.127±0.016 cdefgBCD

2.2.3 φE_0 、 ETR 、 qP 不同葡萄品种 φE_0 、 ETR 、 qP 的高温响应表现见表 4。

表 4 不同葡萄品种 φE_0 、 ETR 、 qP 的高温响应表现
Table 4 Response of φE_0 , ETR and qP of different grape cultivars to high temperature

品种 Cultivar	φE_0	ETR	qP
矢富罗莎 Yatomi Rosa	0.470±0.099 abA	202.610±13.194 bcdefgBCD	0.204±0.012 cdefgCDE
水晶无核 Shuijing Wuhe	0.106±0.068 hE	257.624±162.512 abcdABCD	0.340±0.159 abAB
里扎马特 Rizamat	0.187±0.054 fghCDE	148.508±42.815 fgCD	0.157±0.049 fgDE
维多利亚 Victoria	0.318±0.064 cdefABCD	241.184±38.971 bcdefABCD	0.276±0.068 bcdeABCD
乍娜(绯红)Cardinal	0.313±0.082 cdefABCD	257.333±59.963 abcdeABCD	0.296±0.091 abcABC
无核白鸡心 Centennial Seedless	0.152±0.039 ghDE	341.670±50.158 aA	0.386±0.053 aA
巨玫瑰 Jumeigui	0.329±0.069 cdeABC	192.387±84.828 cdefgBCD	0.193±0.085 defgCDE
木纳格 Munage	0.287±0.064 defBCD	186.802±42.575 cdefgBCD	0.197±0.051 cdefgCDE
和田黄 Hetianhuang	0.360±0.114 abcdeABC	292.356±56.479 abAB	0.296±0.059 abcABC
红旗特早玫瑰 Hongqi Tezaomeigui	0.341±0.058 bcdeABC	240.134±41.982 bcdefABCD	0.243±0.024 bcdefBCDE
克瑞森无核 Crimson Seedless	0.333±0.092 cdeABC	168.729±40.893 defgBCD	0.180±0.043 efgCDE
贝达 Beta	0.307±0.082 defABCD	161.218±52.083 efgCD	0.176±0.053 efgCDE
藤稔 Fujiminori	0.406±0.038 abcdAB	201.844±79.715 bcdefgBCD	0.214±0.065 cdefgBCDE
巨峰 Kyoho	0.273±0.119 efgBCDE	229.566±39.869 bcdefABCD	0.240±0.047 bcdefBCDE
美人指 Manicure finger	0.440±0.110 abcAB	185.671±3.006 cdefgBCD	0.191±0.006 defgCDE
红地球 Red Globe	0.412±0.118 abcdAB	261.540±2.386 abcdABCD	0.254±0.007 bcdefABCDE
金田玫瑰 Jintian Meigui	0.373±0.052 abcdeAB	132.795±34.245 gD	0.134±0.037 gE
金田蜜 Jintianmi	0.473±0.021 aA	268.586±23.622 abcABC	0.285±0.039 abcdABCD
无核白 Thompson Seedless	0.340±0.078 bcdeABC	177.624±22.075 cdefgBCD	0.168±0.019 fgCDE

φE_0 表示用于电子传递的量子产额。由表 4 可知,高温条件下,水晶无核 φE_0 最低,仅为 0.106;金田蜜最高,为 0.473;其中水晶无核、无核白鸡心、里扎马特极显著低于金田蜜、矢富罗莎、美人指等品种。*ETR* 反映 PS II 的电子传递速率,其中无核白鸡心最高,为 341.670;金田玫瑰最低,为 132.795;除金田玫瑰、里扎马特、贝达极显著低于无核白鸡心、和田黄外,其他品种间差异不显著。光化学淬灭系数 qP 反映 PS II 的电子传递活性,当 $qP<0.400$ 时,PS II 可能受到伤害。表 4 表明,高温条件下 19 个品种葡萄的 qP 均显著低于 0.400,反映高温对各品种葡萄 PS II 反应中心的开放程度均有显著影响,

表 5 不同葡萄品种叶绿素荧光参数指标的相关性

Table 5 Correlation analysis of different chlorophyll fluorescence parameters of different grape cultivars										
指标 Index	F_0	F_m	F_v/F_0	F_v/F_m	PI_{ABS}	DI_0/CS_0	$\Phi PS\ II$	φE_0	<i>ETR</i>	qP
F_0	1									
F_m	-0.295	1								
F_v/F_0	-0.842**	0.752**	1							
F_v/F_m	-0.840**	0.752**	0.972**	1						
PI_{ABS}	-0.793**	0.500*	0.864**	0.770**	1					
DI_0/CS_0	0.911**	-0.633**	-0.950**	-0.986**	-0.772**	1				
$\Phi PS\ II$	0.116	-0.339	-0.224	-0.292	-0.057	0.271	1			
φE_0	-0.872**	0.622**	0.951**	0.923**	0.937**	-0.924**	-0.183	1		
<i>ETR</i>	0.118	-0.341	-0.227	-0.294	-0.06	0.273	1.000**	-0.185	1	
qP	0.274	-0.506*	-0.425	-0.498*	-0.22	0.470*	0.956**	-0.367	0.956**	1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)显著相关,* 表示在 0.05 水平(双侧)显著相关。
Note: ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level,* indicates significant correlation at 0.05 level.

2.3.2 耐热性分析与评价 鉴于 F_v/F_m 是植物发生光抑制的敏感指标,也是耐热性评价的重要指标^[16-17],因此对与 F_v/F_m 显著相关的指标进行模糊隶属函数法分析,并进行综合 AR 值排序,结果见表 6。由表 6 可知,综合排序结果表现为美人指>矢富

说明高温导致其受体侧接受电子的能力减弱,其中无核白鸡心 qP 最高,为 0.386;金田玫瑰最低,仅为 0.134;说明各品种均受到不同程度的高温伤害。

2.3 不同葡萄品种叶片耐热性分析及评价

2.3.1 荧光参数指标的相关性 对 10 个叶绿素荧光参数指标进行相关性分析,结果见表 5。由表 5 可知, F_v/F_m 与 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 、 PI_{ABS} 、 DI_0/CS_0 、 φE_0 等指标相关性极显著,与 qP 相关性显著;其中 F_v/F_m 与 F_m 、 F_v/F_0 、 PI_{ABS} 、 φE_0 呈极显著正相关,与 F_0 、 DI_0/CS_0 呈极显著负相关,与 qP 呈显著负相关,与 $\Phi PS\ II$ 、*ETR* 呈负相关,但相关性不显著。

罗莎>金田蜜>红地球>金田玫瑰>藤稔>红旗特早玫瑰>无核白>和田黄>巨玫瑰>克瑞森无核>贝达>巨峰>木纳格>乍娜(绯红)>维多利亚>里扎马特>无核白鸡心>水晶无核。

表 6 不同葡萄品种耐热性的分析与评价

Table 6 Analysis and evaluation of heat tolerance of different grape cultivars							
品种 Cultivar	综合值 AR	排名 Rank	耐热性 Heat tolerance	品种 Cultivar	综合值 AR	排名 Rank	耐热性 Heat tolerance
矢富罗莎 Yatomi Rosa	6.951	2	强 Strong	克瑞森无核 Crimson Seedless	4.867	11	中 Medium
水晶无核 Shuijing Wuhe	0.183	19	弱 Weak	贝达 Beta	4.817	12	中 Medium
里扎马特 Rizamat	2.678	17	弱 Weak	藤稔 Fujiminori	6.248	6	强 Strong
维多利亚 Victoria	4.486	16	中 Medium	巨峰 Kyoho	4.599	13	中 Medium
乍娜(绯红) Cardinal	4.489	15	中 Medium	美人指 Manicure finger	7.040	1	强 Strong
无核白鸡心 Centennial Seedless	0.763	18	弱 Weak	红地球 Red Globe	6.402	4	强 Strong
巨玫瑰 Jumeigui	4.963	10	中 Medium	金田玫瑰 Jintian Meigui	6.331	5	强 Strong
木纳格 Munage	4.521	14	中 Medium	金田蜜 Jintianmi	6.475	3	强 Strong
和田黄 Hetianhuang	5.392	9	中 Medium	无核白 Thompson Seedless	5.583	8	中 Medium
红旗特早玫瑰 Hongqi Tezaomeigui	5.610	7	中 Medium				

采用有序样本最优分割聚类法,对 AR 值进行分类,从而得到所有品种耐热性的最优分割误差函

数及分类结果见表 7。由表 7 可知,随着分类数增加,误差函数趋于稳定,初步将其分为 3 级,并进行 F 检验。结果表明,各分级差异极显著($P<0.01$),因此确定为最优 3 级分割,并将其耐热性级别分为弱、中、强 3 种类型,AR 阈值对应 <4.0 、 $\geq 4.0\sim\leq 6.0$ 、 >6.0 。根据该标准,对 19 个品种进行耐热性评价,结果见表 6。由表 6 可见,19 个供试品种中,耐热性强的品种有 6 个,耐热性中等的品种有 10 个,耐热性弱的品种有 3 个。其中美人指、矢富罗莎、金田蜜、红地球、金田玫瑰、藤稔为耐热性强的品种,可作为吐鲁番葡萄产区推广种植的优选品种。

表 7 不同分类数下 19 个葡萄品种 AR 的分类结果

Table 7 Classification of AR under different cluster numbers of 19 grape cultivars

分类数 Cluster number	误差函数 Error function	最优分割结果 Optimal segmentation
2	0.337 5	1-16,17-19
3	0.122 6	1-6,7-16,17-19
4	0.053 6	1-6,7-16,17,18-19
5	0.021 3	1-6,7-9,10-16,17,18-19
6	0.010 0	1-2,3-6,7-9,10-16,17, 18-19
7	0.005 3	1-2,3-6,7-9,10-12, 13-16,17,18-19

注:“最优分割结果”一列中数字为品种排名序号,与表 6 同。
Note:The numbers in “Optimal segmentation” indicate ranks of cultivars in Table 6.

3 讨论与结论

3.1 高温对不同葡萄品种叶绿素荧光的影响

高温胁迫会导致 PSⅡ 的光能转换效率降低,引起 PSⅡ 结构和功能的变化甚至损害^[27-30]。叶绿素荧光包含了丰富的光合作用信息^[31],其中 F_v/F_m 属于热敏指标^[8,17],是评价植物耐热性的重要依据。本研究结果表明,高温对各品种葡萄的叶绿素荧光参数均有显著影响,尤其是高温条件下 19 个葡萄品种的 F_v/F_m 值为 0.553~0.786,均低于非胁迫条件下植物 F_v/F_m 平均值 0.832 ± 0.004 ,说明高温胁迫会导致 F_v/F_m 显著降低,抑制葡萄光能转化效率,这一结论与王瑞华等^[9]、查倩等^[11]的报道一致。

qP 是叶绿素荧光参数之一,反映了 PSⅡ 吸收的光能用于光化学反应电子传递的份额。本研究结果表明,19 个葡萄品种的 qP 为 0.134~0.386,其中无核白鸡心最高,为 0.386,显著低于 PSⅡ 受伤临界值 0.400,说明高温对 19 个葡萄品种的 PSⅡ 反应中心的开放程度均有影响,导致受体侧接受电子的能力减弱^[16-18]。

高温胁迫下大部分葡萄品种的 $\Phi PSⅡ$ 差异不显著,说明实际原初光能捕获效率差异不大。作为吐鲁番主栽品种的无核白和无核白鸡心,在 19 个品种中耐热性分别表现为中等和弱,但无核白鸡心的 $\Phi PSⅡ$ 和 ETR 均较高,即高温条件下其电子传递速率仍然较高,反映其适应性与自我保护性较强,这与贾杨等^[19]的研究结果一致,其耐热机理值得进一步探索研究。

3.2 不同葡萄品种的耐热性评价

F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 、 PI_{ABS} 、 DI_0/CS_0 、 φE_0 、 qP 、 F_v/F_m 等指标反映了葡萄叶片的 PSⅡ 光化学活性。本研究发现,高温对 19 个葡萄品种光化学活性的影响趋于一致,且各指标相关性较高,尤其是 F_m 、 F_v/F_0 、 φE_0 、 F_v/F_m 等指标极显著相关,因此,本研究将与 F_v/F_m 相关性显著的指标均作为耐热性评价指标进行分析。结果表明,美人指、矢富罗莎、金田蜜、红地球、金田玫瑰、藤稔在 19 个葡萄品种中属耐热性强的品种。这与姜建福等^[15]的研究结果不尽一致,可能与试验方法、样本数量及评价指标等有所区别有关。

叶绿素荧光参数能直接反映植物的光化学活性,而且检测过程简单快速,因此被广泛应用于植物的耐热性鉴定评价^[15-17]。但叶绿素荧光参数指标众多,且各指标间存在相关性。因此,本研究利用模糊隶属函数法^[26]对各相关指标进行综合分析,再以隶属函数值进行最优分割法聚类分析,从而更全面地评价了葡萄的耐热性。孙永江等^[13-14]研究表明,强光和高温能够协同抑制 PSⅡ 的功能,仅在室内测定叶片相关指标并不能完全真实地反映其在自然环境中的耐热性^[27]。而本研究数据是在自然高温、光照环境条件下获得的,因此所采用的方法和结果对葡萄的耐热性评价、鉴定及品种选育均具有参考价值。

[参考文献]

[1] 孔庆山. 中国葡萄志 [M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2004:209-518.
Kong Q S. Chinese ampelography [M]. Beijing:China Agricultural Scientific and Technical Press,2004:209-518.
[2] 孟聚星,姜建福,张国海,等. 我国育成葡萄新品种系谱分析 [J]. 果树学报 2017,34(4):393-409.
Meng J X, Jiang J F, Zhang G H, et al. Pedigree analysis of grape cultivars released in China [J]. Journal of Fruit Science, 2017,34(4):393-409.
[3] 陈 虹. 新疆统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社,2016.
Chen H. Xinjiang statistical yearbook [M]. Beijing:China Statistics Press,2016.

- [4] 吐鲁番政府网. 走进吐鲁番:气候特征 [EB/OL]. (2017-09-14) [2018-04-15]. <http://www.tlf.gov.cn/info/375/171173.htm>.
Turpan Government Net. Entered the Turpan: climate characteristics [EB/OL]. (2017-09-14) [2018-04-15]. <http://www.tlf.gov.cn/info/375/171173.htm>.
- [5] 吴久赞,郭峰,刘翔宇,等. 高温期不同处理对日光温室温度变化及葡萄生长的影响 [J]. 北方园艺, 2014(15): 54-57.
Wu J Y, Guo F, Liu X Y, et al. Effects of different treatment on temperature changes in solar greenhouse and growth of grapes in high temperature period [J]. Northern Horticulture, 2014(15): 54-57.
- [6] 吴久赞,刘翔宇,雷静,等. 吐鲁番地区 11 个葡萄品种的设施栽培特性分析 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(3): 134-141.
Wu J Y, Liu X Y, Lei J, et al. Cultivation characteristics of eleven grape cultivars in solar greenhouse in Turpan [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2018, 46(3): 134-141.
- [7] 张睿佳,李瑛,虞秀明,等. 高温胁迫与外源油菜素内酯对‘巨峰’葡萄叶片光合生理和果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2015, 32(4): 590-596.
Zhang R J, Li Y, Yu X M, et al. Effects of heat stress and exogenous brassinolide on photosynthesis of leaves and berry quality of ‘Kyoho’ grapevine [J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(4): 590-596.
- [8] 王瑞华,郭峰,李海峰,等. 高温胁迫对不同葡萄品种叶绿素荧光参数的影响 [J]. 中国葡萄与葡萄酒, 2014(1): 33-35.
Wang R H, Guo F, Li H F, et al. Influence of heat stress on chlorophyll fluorescence parameters in different varieties of grape [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2014(1): 33-35.
- [9] 王瑞华,郭峰,李海峰,等. 高温下不同葡萄品种叶绿素荧光特性研究 [J]. 中国果树, 2013(6): 11-12.
Wang R H, Guo F, Li H F, et al. Study on high temperature of chlorophyll fluorescence in different varieties grape [J]. China Fruit, 2013(6): 11-12.
- [10] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis: contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.
- [11] 查倩,奚晓军,蒋爱丽,等. 高温条件下‘巨玫瑰’葡萄品种叶片表型、可溶性糖和叶绿素荧光特性的研究 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(25): 118-123.
Zha Q, Xi X J, Jiang A L, et al. Study on leaf phenotype, soluble sugar and chlorophyll fluorescence characteristics response to heat stress in ‘Jumeigui’ grapes [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(25): 118-123.
- [12] Carvalho L C, Coito J L, Colaco S, et al. Heat stress in grapevine: the pros and cons of acclimation [J]. Plant Cell Environment, 2015, 38: 777-789.
- [13] 孙永江,付艳东,杜远鹏,等. 不同温度/光照组合对‘赤霞珠’葡萄叶片光系统 II 功能的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1191-1200.
Sun Y J, Fu Y D, Du Y P, et al. Effects of different temperature and light treatments on photosynthetic system II in *Vitis vinifera* L. cv. cabernet sauvignon [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(6): 1191-1200.
- [14] 孙永江,杜远鹏,翟衡. 高温胁迫下不同光强对‘赤霞珠’葡萄 PS II 活性及恢复的影响 [J]. 植物生理学报, 2014, 50(8): 1209-1215.
Sun Y J, Du Y P, Zhai H. Effects of different light intensity on PS II activity and recovery of *Vitis vinifera* cv. cabernet sauvignon leaves under high temperature stress [J]. Plant Physiology Journal, 2014, 50(8): 1209-1215.
- [15] 姜建福,马寅峰,樊秀彩,等. 196 份葡萄属(*Vitis* L.) 种质资源耐热性评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1): 70-79.
Jiang J F, Ma Y F, Fan X C, et al. Evaluation of 196 *Vitis germplasm* resources to heat tolerance [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 70-79.
- [16] 徐洪国. 葡萄耐热性评价及不同耐热性葡萄转录组研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
Xu H G. Evaluation of grape heat tolerance and transcriptome of different heat tolerance of grape [D]. Beijing: China Agriculture University, 2014.
- [17] 孟聚星. 中国野生葡萄地理分异研究 [D]. 郑州: 河南科技大学, 2017.
Meng J X. Studies on geographical variance of Chinese wild grape species [D]. Zhengzhou: Henan Science and Technology University, 2017.
- [18] 贾杨. 吐鲁番葡萄叶幕微气候差异及若干葡萄品种光合特性研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
Jia Y. Research on the difference of grape canopy microclimate and photosynthetic characteristics of several grape varieties in Turpan [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015.
- [19] 贾杨,廖康,牛莹莹,等. 不同葡萄品种在吐鲁番的光合特性及荧光参数差异分析 [J]. 新疆农业大学学报, 2015, 38(1): 12-17.
Jia Y, Liao K, Niu Y Y, et al. Analysis on difference of photosynthetic characteristics and fluorescence parameters of different grape varieties in Turpan area [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2015, 38(1): 12-17.
- [20] 赵海亮,赵文东,孙凌俊,等. 不同架式巨峰葡萄光合特性与叶绿素荧光参数研究 [J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2691-2695.
Zhao H L, Zhao W D, Sun L J, et al. Study on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of ‘Kyoho’ grape in different trellis [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(6): 2691-2695.
- [21] 邢双涛,李志博,汤丽魁,等. 不同温度对不同基因型棉花叶片叶绿素荧光的影响 [J]. 新疆农业科学, 2017, 54(3): 403-408.
Xing S T, Li Z B, Tang L K, et al. Effects of different temperatures on chlorophyll fluorescence of different genotypes of cotton leaves [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(3): 403-408.

[22] 张会丽,袁 闯,朱 林,等.利用隶属函数值法对玉米成熟期耐盐性的综合评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(2):47-55.
Zhang H L,Yuan C,Zhu L,et al. Comprehensive evaluation of salt-tolerance of maize at mature period using subordinate function value analysis [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2018,46(2):47-55.

[23] 林俊芳,钟凤林,胡海非,等.茄子苗期耐热性的模糊综合评判[J].植物遗传资源学报,2015,16(2):389-394.
Lin J F,Zhong F L,Hu H F,et al. Fuzzy comprehensive evaluation on heat tolerance in eggplant seedling stage [J]. Journal of Plant Genetic Resources,2015,16(2):389-394.

[24] 靳路真,王 洋,张 伟,等.大豆品种(系)耐热性鉴定及分级评鉴[J].中国油料作物学报,2016,38(1):77-87.
Jin L Z,Wang Y,Zhang W,et al. Grading evaluation on heat tolerance in soybean identification of heat-tolerant cultivars [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2016,38(1):77-87.

[25] 赵丽丽,陈 超,邓 蓉,等.高温对金荞麦生理生化特征的影响及其耐热性评价[J].草地学报,2016,24(1):222-225.
Zhao L L,Chen C,Deng R,et al. Physiological and biochemical response of *Fagopyrum dibotrys* to high temperature stress and evaluation of their heat tolerance [J]. Acta Agricultura Sinica,2016,24(1):222-225.

[26] 王 勇,李玉玲,孙 锋,等.葡萄抗旱性鉴定及其遗传倾向分析[J].植物生理学报,2015,51(6):835-839.
Wang Y,Li Y L,Sun F,et al. Identification of drought resistance and analysis of genetic tendency of grape [J]. Plant Physiology Journal,2015,51(6):835-839.

[27] 王 涛,田雪瑶,谢寅峰,等.植物耐热性研究进展[J].云南农业大学学报,2013,28(5):719-726.
Wang T,Tian X Y,Xie Y F,et al. Research advance on heat-stress tolerance in plants [J]. Journal of Yunnan Agricultural University,2013,28(5):719-726.

[28] Stefanov D,Petkova V,Denev I D. Screening for heat tolerance in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines and cultivars using JIP-test [J]. Scientia Horticulturae,2011,128(1):1-6.

[29] 郑秋玲,谭 伟,马 宁,等.钙对高温下巨峰葡萄叶片光合作用和叶绿素荧光的影响[J].中国农业科学,2010,43(9):1963-1968.
Zheng Q L,Tan W,Ma N,et al. Effects of calcium on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of ‘Kyoho’ grape under high temperature stress [J]. Scientia Agricultura Sinica,2010,43(9):1963-1968.

[30] 查 倩,奚晓军,蒋爱丽,等.高温胁迫对葡萄幼树叶叶绿素荧光特性和抗氧化酶活性的影响[J].植物生理学报,2016,52(4):525-532.
Zha Q,Xi X J,Jiang A L,et al. Effects of heat stress on chlorophyll fluorescence characteristics and antioxidant activity in grapevines [J]. Plant Physiology Journal,2016,52(4):525-532.

[31] 李鹏民.快速叶绿素荧光诱导动力学在植物逆境生理研究中的应用[D].山东泰安:山东农业大学,2007.
Li P M. Application of the fast chlorophyll fluorescence induction dynamics analysis in photosynthesis study [D]. Taian, Shandong:Shandong Agriculture University,2007.

(上接第 79 页)

[25] 赵长增,陆 璐,陈伯鸿.干旱荒漠地区苹果园地膜及秸秆覆盖的农业生态效应研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1):155-158.
Zhao C Z,Lu L,Chen B H. Effect of field covering with plastic and straw on agricultural ecology of apple orchard in arid desert area [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2004,12(1):155-158.

[26] 高云超,朱文珊,陈文新.秸秆覆盖免耕土壤真菌群落结构与生态特征研究[J].生态学报,2001,21(10):1704-1710.
Gao Y C,Zhu W S,Chen W X. Community structures of saprophytic soil microfungi in three differently cultivated field soils in the north of China [J]. Acta Ecologica Sinica,2001,21(10):1704-1710.