

谭孟祥,景元书,曹海宁.江苏省一季稻生长季气候适宜度及其变化趋势分析[J].江苏农业科学,2016,44(1):349-353.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.102

江苏省一季稻生长季气候适宜度及其变化趋势分析

谭孟祥,景元书,曹海宁

(气象灾害预报预警与评估协同创新中心/江苏省农业气象重点实验室/南京信息工程大学应用气象学院,江苏南京 210044)

摘要:为分析气候变化对水稻气候生态的影响,结合江苏省气候资源条件与一季稻的生育特性,建立了江苏省一季稻气候适宜度模型,并计算 1970—2012 年江苏省 9 个站点一季稻不同生育期的气候适宜度。结果表明:江苏省各地的温度适宜度普遍较高,降水适宜度普遍较低,降水量是限制江苏省一季稻生长发育的主要因子;除温度适宜度整体呈增加趋势外,降水适宜度、日照适宜度、气候适宜度整体均呈下降趋势。江苏省一季稻气候适宜度可分为不同适宜程度区域,降水适宜度、温度适宜度、日照适宜度分区与实际降水量、温度、日照的分布特征大致一致。

关键词:一季稻;气候适宜度;变化趋势;生育期;江苏省

中图分类号: S162.5+3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)01-0349-04

江苏省素有“鱼米之乡”之称,尽管可耕地面积仅占全国的 3.9%,但粮食产量位居全国前列,农业在保障粮食供给和经济建设方面均有举足轻重的地位^[1]。全球气候变化及其影响问题已经成为人类关注的热点问题之一^[2-4]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 4 次评估报告指出,全球气候变化对人类生存和自然环境带来了显著影响^[5]。农业生产直接受制于气候变化与气象要素,水稻的生长发育过程对气象条件有严格的要求。因此,气候变化对水稻生长发育的影响是国内外研究的焦点问题之一^[6]。根据稻作制度不同,我国水稻可分为单季稻、双季稻,其种植区域类型决定于种植区的农业气候资源^[7]。江苏省的气候资源条件和经济效益,决定了江苏省水稻种植制度基本是一年一熟制或两年三熟制。气候变化对单季稻种植有较大影响,气候适宜度模型具有较大区域适用性,不同区域、不同作物的指标有所不同。赖纯佳等对淮河流域双季稻和河南省棉花气候适宜度等进行了不同程度的研究^[8-9],但目前对江苏省一季稻的气候适宜性研究较少。本研究探讨了江苏省一季稻生育期气候适宜度的动态变化,讨论影响一季稻生长发育的关键因素,以期调整水稻种植结构、提高江苏省水稻产量提供依据。

1 材料与方法

1.1 资料收集与处理

采用江苏省广泛种植的中熟品种一季杂交籼稻(4 月下旬播种,10 月上旬收获),对江苏省一季稻的气候适宜度进行评价分析。气候站点资料来自江苏省气候中心,选用 9 个代表站点(徐州市、连云港市赣榆区、泗洪县、淮安市、盐城市大丰区、南通市、常州市、无锡市、苏州市)2009—2012 年的逐旬

气象资料,以及常州市、徐州市、连云港市赣榆区、南通市、苏州市等 5 个站点的逐旬气象资料,用于江苏省一季稻气候适宜度的评价分析。将 1990—2011 年常州市、南通市一季稻单产资料用于气候适宜度模型检验,该资料分别来自于常州市、南通市农业统计年鉴。运用 Excel 软件对数据进行处理, Arc-Map 软件制图。

1.2 气候适宜度模型

1.2.1 模型及参数确定 为定量分析气候条件对江苏省一季稻生长的满足程度,本研究引入气候适宜度模型,根据气象因素分为温度适宜度、降水适宜度、日照适宜度。根据马树庆等的研究^[10-12],结合江苏省实际气候和一季稻生长状况,建立温度、降水、日照的适宜度函数分别为:

$$S(T) = \frac{(T - T_1)(T_2 - T)^B}{(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B}; \quad (1)$$

$$B = \frac{T_2 - T_0}{T_0 - T_1}; \quad (2)$$

$$S(R) = \begin{cases} \frac{R}{R_0} & R < R_0 \\ \frac{R_0}{R} & R \geq R_0 \end{cases}; \quad (3)$$

$$S(S) = \begin{cases} e^{-[\frac{S-S_0}{S_0}]^2} & S < S_0 \\ 1 & S \geq S_0 \end{cases}. \quad (4)$$

式中: $S(T)$ 、 $S(R)$ 、 $S(S)$ 分别为水稻生育期温度适宜度、降水适宜度、日照适宜度; T 、 R 、 S 分别为水稻生育期每旬观测到的平均气温、累积降水量、实际日照时数; T_1 、 T_2 、 T_0 分别代表水稻生长发育所需的下限温度、上限温度、最适宜温度,取值见表 1^[13-14]; R_0 为生育期内水稻生理需水量,取值见表 2;以日照时数达可照时数的 70% (日照百分率)为临界点,认为日照百分比达到 70% 以上,水稻对日照条件的反应即达到适宜状态, S_0 表示日照百分比为 70% 的日照时数, b 为日照参数,不同作物、不同生育期日照适宜度参数 b 的数值不同,参考以往研究,结合江苏省实际情况,水稻各生育期 S_0 、 b 的取值见表 2。

为了综合反映温度、降水、日照对水稻适宜度的影响,评

收稿日期:2015-01-07

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(编号:GYHY201406025);江苏省“六大人才高峰”高层次人才项目(编号:NY-038)。

作者简介:谭孟祥(1990—),女,广西河池人,硕士研究生,研究方向为作物气象与气象灾害。E-mail:t-mactmx@163.com。

通信作者:景元书,博士,教授。E-mail:jingyushu@163.com。

估江苏省气候资源对一季稻生长发育的适宜动态,采用几何平均法对各气象要素单因子适宜度求平均值,构建江苏省一季稻各生育期气候适宜度(S_i)的綜合影响模型,即:

$$S_i = \sqrt[3]{S(T) \times S(R) \times S(S)} \quad (5)$$

式中: S_i 为江苏省一季稻第 i 个生育期的气候适宜度。

表 1 一季稻各生育期临界温度值

| 生育期 | T_0 (℃) | T_1 (℃) | T_2 (℃) |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| 苗期(4月下旬至5月下旬) | 21 | 10 | 40 |
| 分蘖期(6月上旬至7月下旬) | 25 | 12 | 35 |
| 拔节孕穗期(7月上旬至8月上旬) | 28 | 15 | 40 |
| 抽穗开花期(8月中旬至9月上旬) | 26 | 18 | 35 |
| 灌浆成熟期(9月中旬至10月上旬) | 23 | 13 | 35 |

表 2 单季稻各生育期生理需水量(R_0)、适宜日照时数(S_0)、日照参数(b)

| 生育期 | R_0 (mm) | S_0 (h) | b |
|-------------------|---------------|--------------|------|
| 苗期(4月下旬至5月下旬) | 4.49 | 9.53 | 5.14 |
| 分蘖期(6月上旬至7月下旬) | 6.36 | 9.05 | 5.04 |
| 拔节孕穗期(7月上旬至8月上旬) | 5.93 | 8.95 | 4.83 |
| 抽穗开花期(8月中旬至9月上旬) | 7.73 | 8.35 | 4.50 |
| 灌浆成熟期(9月中旬至10月上旬) | 4.18 | 7.61 | 4.10 |

1.2.2 模型检验 选用常州市、南通市的数据进行检验,对 2 个市 1970—2011 年的水稻单产数据,利用正交多项式的方法拟合出趋势产量,趋势产量与实际产量的差值即为气象产量,趋势产量主要受社会经济因子的影响,而气象产量的变化主要取决于气候因子的变化^[15]。用 SPSS 软件对常州市、南通市 1970—2011 年气候适宜度与气候产量进行相关分析,分析结果均通过了置信度 0.05 的显著性检验,而且两者的年际变化基本一致,由此说明所建立的气候适宜度模型能客观地反映江苏省一季稻的气候适宜性水平及其动态变化,可以较好地对江苏省一季稻的气候适宜度进行评估。

2 结果与分析

2.1 江苏省一季稻生育期内气候适宜度变化以及关键因子分析

根据江苏省 9 个站点 2009—2012 年水稻实际生长期旬降水量、旬平均气温、旬日照时数,利用建立的气候适宜度模型计算 9 个站点一季稻生育期的降水、温度、日照、气候的适宜度,分析江苏省一季稻气候适宜度在生长发育期内的变化趋势及各气候因素的变异系数。

由图 1-a 可知,江苏省一季稻生育期内气候适宜度波动不大,适宜度在 0.60 上下波动,平均值为 0.67;随生育进程推进,气候适宜度整体呈下降趋势,6 月中旬、7 月中旬、9 月上旬、10 月上旬的气候适宜度略低于江苏省水稻全生育期气候适宜度的总趋势,主要是因为 7 月的洪涝、阴雨害以及在抽穗开花期发生了强降水,这些水稻常见灾害的发生说明降水是江苏省一季稻生长发育的主要影响因子。而水稻生长发育期出现的阴雨雪常常伴随着寡照发生,光照不足造成光合作用受阻,碳水化合物积累与转移减少,颖花高度不孕,减产幅度大。

图 1-b 显示,江苏省一季稻生育期内的降水适宜度为 0.05~0.55,平均值为 0.39,降水适宜度总体较低,其变化幅度在各气象要素适宜度中最大,且变异系数的变幅也较大。除 6 月下旬至 7 月中旬、8 月中旬、8 月下旬的适宜度略高于 0.50 之外,其他时期的降水适宜度均低于 0.50,10 月上旬的降水适宜度值甚至低于 0.10,由此说明降水严重限制了江苏省一季稻的生长发育。4 月下旬出现的连续阴雨以及 7—8 月出现的洪涝灾害是江苏省常见的农业气象灾害。10 月上旬即水稻灌浆成熟期,降水适宜度低至 0.05,变异系数逼近 1.0,主要是因为在该时期江苏省各地降水极少,甚至多地无降水,据统计,本研究 9 个站点中有 7 个站点 2009—2012 年 10 月上旬的降水量为 0 cm,无降水的无锡市、苏州市站点这 4 年的降水适宜度均低于 0.20。10 月上旬正值江苏省汛期结束,水稻在灌浆成熟期缺乏降水量,会造成粒质量下降而严重影响产量。

如图 1-c 所示,江苏省一季稻生育期内温度适宜度为 0.83~0.99,平均值为 0.95,温度适宜度整体较高,且变化幅度较小,由此说明在江苏省温度基本上能满足一季稻的生长发育。4 月下旬江苏省一季稻的温度适宜度为 0.83,江苏省一季稻出苗期的下限温度为 10℃,最适温度为 21℃。据统计,江苏省 2009—2012 年 4 月下旬的平均温度为 17.3℃,略低于最适温度;而 10 月上旬的平均温度略高于最适温度。所以苗期低温、灌浆成熟期高温是影响江苏省一季稻生长发育的主要原因。尤其是在水稻灌浆期的高温热害,会造成千粒质量下降,稻米品质变劣,产量降低,这就是通常所说的高温逼熟。

如图 1-d 所示,江苏省一季稻日照适宜度的变化趋势与温度适宜度正好相反,在苗期、成熟期光照条件较适宜水稻生长,在水稻生长发育中期,即拔节孕穗期、抽穗开花期,一季稻的日照适宜度较低。整个生育期的日照适宜度为 0.47~0.93,变化幅度较大,变异系数平均值为 0.68。江苏省一季稻日照适宜度在拔节孕穗期、抽穗开花期较低的原因,主要是 7、8 月是江苏省的汛期,连续性的大雨、暴雨造成光照不足,对水稻生长极为不利。

2.2 江苏省一季稻全生育期气候适宜度年际变化

以徐州市、常州市、赣榆县、南通市、苏州市等 5 个站点为代表,计算 1970—2012 年这些站点水稻全生育期的降水适宜度、温度适宜度、日照适宜度、气候适宜度,分析江苏省一季稻全生育期内气候适宜度的年际变化。

由图 2 可见,江苏省一季稻温度适宜度较高,都在 0.90 以上,日照适宜度、气候适宜度除个别年份低于 0.60 之外,其他年份都高于 0.60,而降水适宜度较低,基本低于 0.50。分析各要素适宜度的变化趋势,只有温度适宜度以 0.005/10 年的速度升高,日照适宜度、降水适宜度、气候适宜度都呈下降趋势,分别以 0.016/10 年、0.009/10 年、0.011/10 年的速度下降。由此看出,全球气候变暖对江苏省一季稻生长带来有利影响,而江苏省降水、日照变化对一季稻生长的负效应正在逐步增强。

2.3 江苏省一季稻适宜度分区

2.3.1 降水适宜度分区 江苏省具有明显的季风气候特征,雨热同期^[16]。由图 3-a 可见,江苏省降水适宜度的分布状

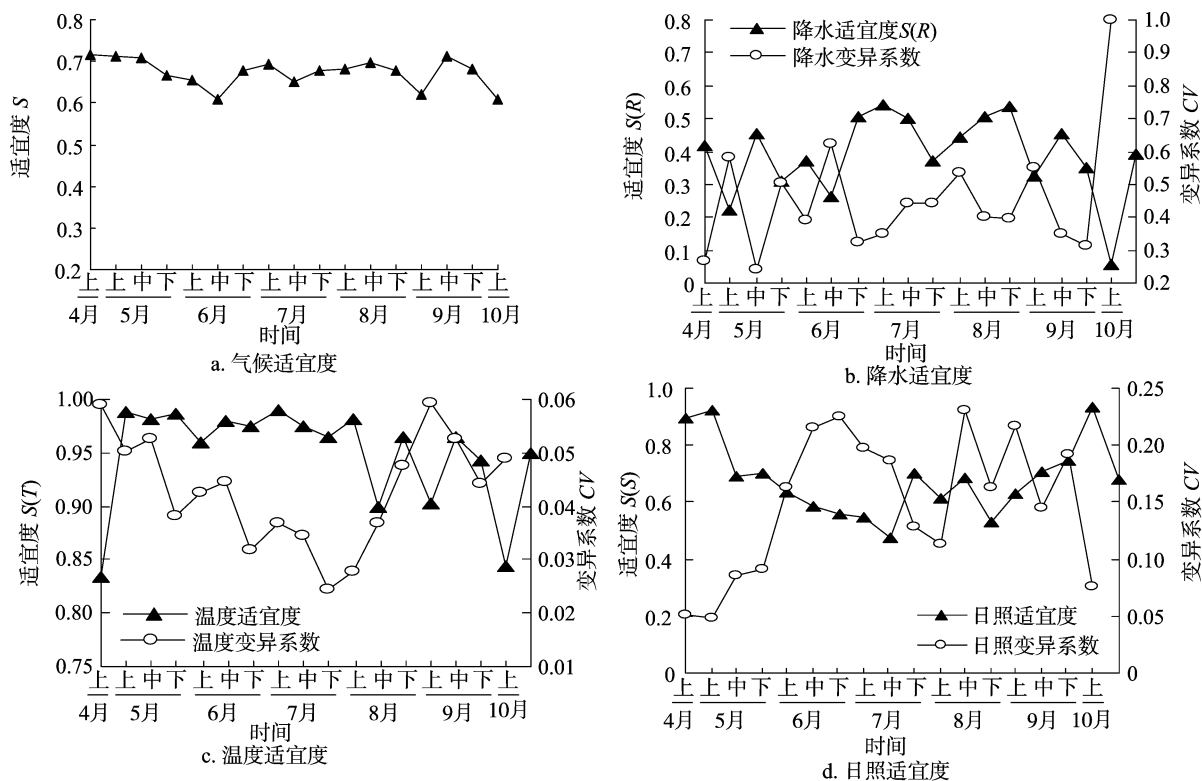


图1 江苏省一季稻生长季气候适宜度及其变异系数

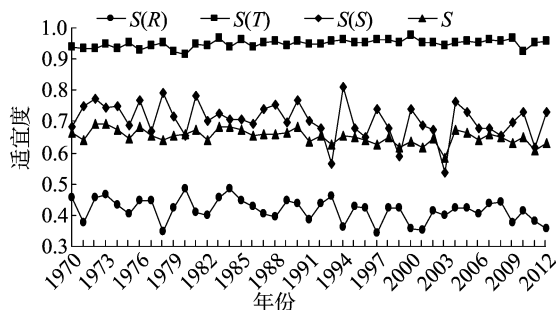


图2 一季稻全生育期适宜度年际变化

态大致是由南向北递减,与江苏省降水量的分布大致相符。降水最适宜区位于江苏省南部,降水适宜度为 0.390 ~ 0.420,该区域年降水量为 1 000 ~ 1 200 mm。降水适宜区为江苏省中部至北部的淮安市、宿迁市一带,该地区年降水量为 800 ~ 1 000 mm,降水适宜度为 0.370 ~ 0.389,该区降水稳定,季节变化不明显,对水稻生长有利。降水次适宜区位于盐城市、连云港市一带,该地区年降水量与降水适宜区的年降水量相差不大,但是该地区降水量的季节差异较大,一季稻生长苗期降水量少;而在水稻对水淹最敏感的孕穗期、抽穗期,东部沿海地区易受台风影响,降水量较大,降水过多造成雨涝,极易造成水稻倒伏,对水稻产量影响较大。

2.3.2 温度适宜度分区 江苏省各地年平均气温为 13.0 ~ 16.5 °C,其中苏南地区高于 15.0 °C,江淮地区为 14.0 ~ 15.0 °C,淮北地区为 13.0 ~ 14.0 °C,年平均气温等值线呈纬向分布^[17]。由图 3-b 可见,温度适宜度的分布与降水适宜度大致相同,也是从南向北依次降低;但江苏省温度适宜度都较高,且区域差别不明显。温度最适宜区位于苏南地区及苏

中部分地区,温度适宜度为 0.950 ~ 0.960。温度适宜区分布在苏北地区(连云港市除外),该地区温度适宜度为 0.930 ~ 0.949。江苏省水稻的温度次适宜区范围比较小,大致在连云港市一带,温度适宜度为 0.920 ~ 0.929,地处江苏省东北角的连云港市赣榆区年平均气温为全省最低,约为 13.8 °C。

2.3.3 日照适宜度分区 日照是作物进行光合作用、提高产量和质量的必要条件。由图 3-c 可见,江苏省日照适宜度分布没有明显规律,但是日照适宜度分布与江苏省年日照时数分布基本一致,可见日照适宜度与日照时数有显著的正相关。江苏省日照分布不规律是因为日照受多方面的影响,日照适宜度不仅与地理位置有关,还受地形、降水影响,降水多的地方日照适宜度低。江苏省水稻的日照适宜度为 0.59 ~ 0.760,其中日照最适宜区分布在盐城市至连云港市一带、徐州市一带和苏州市,最适宜区的日照适宜度为 0.690 ~ 0.760,该区全年日照时数 2 000 ~ 2 300 h,光照条件相对充足。日照适宜区分布在宿迁市北部、淮安市北部、扬州市、泰州市、镇江市、南京市、常州市。日照适宜区在江苏省分布较广,日照适宜度为 0.650 ~ 0.689,全区各地的全年日照时数均为 1 800 ~ 2 100 h,该区日照条件基本能满足水稻生长发育要求。日照次适宜区位于宿迁市南部至淮安市南部和无锡市至南通市一带,日照适宜度为 0.590 ~ 0.649,该区全年日照时数仅为 1 700 ~ 1 800 h,光照不足易导致水稻植株高度增加,根系发育不良,抗性降低。所以,合适的光照对一季稻生长发育有着重要影响。

2.3.4 气候适宜度分区 由图 3-d 可见,由于气候适宜度是降水适宜度、温度适宜度、光照适宜度的综合,所以气候适宜度的区域性并不是特别明显,大致上呈由北向南降低的趋

势。气候最适宜区位于江苏省南部的苏州市、常州市,气候适宜度为 0.640~0.660。气候适宜区分布在南京市至盐城市一带以及泰州市、镇江市一带,该区气候适宜度范围为 0.600~0.629。气候次适宜区为苏北的淮安市、宿迁市、连云

港市、徐州市以及苏中的南通市,气候适宜度为 0.600~0.629。其中南通市的温度、降水条件都较好,气候适宜度不高主要是因为日照条件影响一季稻的生长发育;而苏北地区气候适宜度不高主要是因为降水影响。

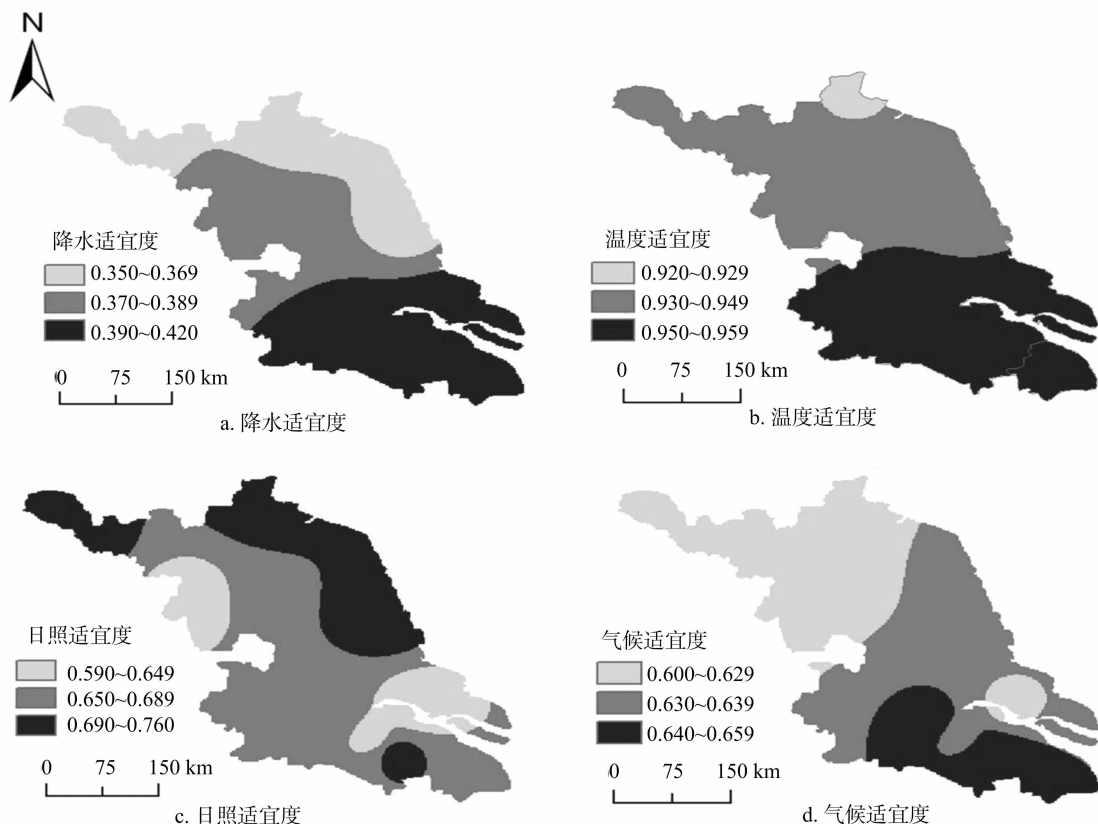


图3 江苏省一季稻气候适宜度分布

3 结论与讨论

根据江苏省气候特点和一季稻生育特性,建立了江苏省一季稻气候适宜度模型。经检验,所建的气候适宜度模型能客观反映江苏省一季稻的气候适宜性水平及动态变化,可用于江苏省一季稻的气候适宜性评估。本研究表明,江苏省各地一季稻的温度适宜度都较高,日照基本上能满足一季稻的生长发育,而降水量是限制江苏省一季稻生长发育的主要因素。水稻出苗期阴雨天带来的寡照以及抽穗期暴雨带来的洪涝对水稻产量造成了严重损失。江苏省一季稻的温度适宜度以 0.005/10 年的速率升高,而降水适宜度、日照适宜度、气候适宜度均呈下降趋势,下降速率分别是 0.009/10 年、0.016/10 年、0.011/10 年,说明气候变暖对江苏省一季稻生长有利,而江苏省降水、日照变化对一季稻生长发育产生的负效应进一步增强。江苏省一季稻的降水适宜度、温度适宜度、日照适宜度分区与实际降水量、温度、日照时数的分布特征基本一致,降水适宜度、温度适宜度的分区大致上呈由南向北递减的趋势。气候适宜度受多种因素影响,区域性不明显。

本研究用一季籼稻代表江苏省种植的一季稻进行气候适宜度模型研究,而不同品种水稻的生育期及对气候条件的适应程度有所不同,其他品种的适宜度研究应结合品种自身情况进行分析,更精细、更准确的划分有待在今后研究中进行。

参考文献:

- [1] 朱敏,袁建辉. 1961—2010 年江苏省农业气候资源演变特征[J]. 气象与环境学报,2013,29(3):69-77.
- [2] Koide N, Robertson A W, Ines A V M, et al. Prediction of rice production in the philippines using seasonal climate forecasts[J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology,2013,52(3):552-569.
- [3] Schmidhuber J, Tubiello F N. Global food security under climate change[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2007,104(50):19703-19708.
- [4] Simelton E. Food self-sufficiency and natural hazards in China[J]. Food Security,2011,3(1):35-52.
- [5] IPCC. Impacts, adaptation and vulnerability. Working group II contribution to the intergovernmental panel on climate change fourth assessment report[R]. Brussels:IPCC,2007.
- [6] Watson R T. Climate change 2001:synthesis report[M]. Cambridge: Cambridge University Press,2001:56.
- [7] 段居琦,周广胜. 我国单季稻种植区的气候适宜性[J]. 应用生态学报,2012,23(2):426-432.
- [8] 赖纯佳,千怀遂,段海来,等. 淮河流域双季稻气候适宜度及其变化趋势[J]. 生态学杂志,2009,28(11):2339-2346.
- [9] 任玉玉,千怀遂. 河南省棉花气候适宜度变化趋势分析[J]. 应

柴明艳. 车前草内生真菌的分离及抑菌活性测定[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 353–356.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.103

车前草内生真菌的分离及抑菌活性测定

柴明艳

(淄博职业学院, 山东淄博 255314)

摘要:从车前草叶中分离内生真菌, 进行发酵培养, 采用其发酵液开展体外抑菌试验, 观察其对 4 种指示菌的抑制作用, 与常规抗生素效果进行对比, 并进一步探讨该发酵液对指示菌的最低抑菌浓度。结果发现, 从车前草叶中分离出 19 株内生真菌, 其中菌株 Y₁₁ 对金黄色葡萄球菌、粪链球菌、大肠杆菌、沙门氏菌均表现出较强的抑菌作用, 其效果与杆菌肽相近; 菌株 Y₁₁ 对金黄色葡萄球菌、粪链球菌、大肠杆菌、沙门氏菌的最低抑菌浓度分别为 0.125、0.250、0.031、1.000 g/L。由结果可知, 车前草叶内存在具有抑菌活性的内生真菌, 可作为筛选抑菌活性物质的新资源。

关键词:车前草; 内生真菌; 分离; 抑菌活性

中图分类号: Q939.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)01-0353-04

植物内生菌(Endophyte)是指在一定阶段或全部阶段生活于健康植物各种组织器官或细胞间隙内的细菌、真菌或放线菌。研究证实, 内生菌和宿主间的生态关系密切, 发挥着多种生物学功能。有些内生菌对植物病原菌具有拮抗作用, 可保护植物免受病害侵袭; 有些内生菌可使宿主体内形成某些次生代谢产物; 有些内生菌能产生与宿主相同或类似的生理活性成分; 还有些内生菌只是与宿主具有共生或伴生关系, 其生物学作用尚未被揭示^[1-3]。目前从植物内生菌中已分离到较多的生防菌种^[4-7], 但有关车前草内生菌资源的研究却未见报道。车前草作为我国传统中药, 别称车轮菜, 是车前科植物车前(*Plantago asiatica* L.) 或平车前(*Plantago depressa* Willd.) 的干燥全草, 具有清热、利尿、通淋、凉血、祛瘀、解毒等药理功效, 可用于痰热咳嗽、吐血衄血、热淋涩痛、水肿尿少、暑湿泄泻、痈肿疮毒等疾病治疗^[8]。迄今, 关于车前草品种资源、种植技术、活性成分及其生物学功能等方面已有较多报道^[9-12], 却无关其内生菌相关的研究报道。本研究从车前草叶中分离内生真菌, 并测定其对金黄色葡萄球菌、粪链球菌、大肠杆菌、沙门氏菌等 4 种指示菌的抑菌活性, 旨在筛选出具有抑菌活性的车前草内生菌, 再筛选出具有明显抑菌效果的菌株, 优化其发酵条件, 为进一步发掘抑菌活性物质并开

发利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试植物 分离内生菌所用材料为无病虫害、生长旺盛的车前草叶片组织, 采自山东省淄博职业学院郊外。

1.1.2 指示菌 指示菌为金黄色葡萄球菌、粪链球菌、大肠杆菌、沙门氏菌, 由淄博职业学院制药与生物工程系实验室提供。

1.1.3 培养基 内生真菌分离和纯化采用 PDA 培养基: 去皮马铃薯 200 g, 葡萄糖 20 g, 琼脂 20 g, 蒸馏水补足体积至 1 L, pH 值 7.2~7.4; 指示菌生长采用营养琼脂培养基: 牛肉膏 3 g, 蛋白胨 10 g, NaCl 5 g, 琼脂 20 g, 蒸馏水补足体积至 1 L, pH 值自然; 液体发酵采用 PD 培养基: 去皮马铃薯 200 g, 葡萄糖 20 g, 蒸馏水补足体积至 1 L, pH 值为 7.2~7.6。以上各种培养基均在 0.1 MPa、121 ℃ 条件下高温灭菌 30 min 后备用。

1.1.4 药敏试纸 药敏试纸购自北京赛为思生物技术开发中心, 氯霉素药敏试验纸片浓度 30 μg/片, 强力霉素药敏试验纸片浓度 30 μg/片, 杆菌肽药敏试验纸片浓度 10 μg/片, 青霉素药敏试验纸片浓度 10 μg/片, 庆大霉素药敏试验纸片浓度 10 μg/片。

1.2 试验方法

1.2.1 内生菌分离与纯化 内生真菌分离参照组织块点植法进行^[13]。取新鲜车前草的叶片组织, 用自来水洗净, 消毒

趋势分析[J]. 地理科学, 2008, 28(4): 537–542.

[14] 赵 峰, 千怀遂, 焦士兴. 农作物气候适宜度模型研究——以河南省冬小麦为例[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 77–82.

[15] 房世波. 分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(6): 13–18.

[16] 买 苗, 查书评, 朱 宝, 等. 江苏省农业气候资源区划[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8): 4692–4695.

[17] 王 颖. 气象灾害对江苏农业的影响及对策[J]. 中国农技推广, 2012, 28(2): 8–10.

用气象学报, 2006, 17(1): 87–93.

[10] 马树庆. 吉林省农业气候研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 33.

[11] 黄 璜. 中国红壤壤地区作物生产的气候生态适应性研究[J]. 自然资源学报, 1996, 11(4): 340–346.

[12] 魏瑞江, 张文宗, 康西言, 等. 河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 5–9, 15.

[13] 俞 芬, 千怀遂, 段海来. 淮河流域水稻的气候适宜度及其变化

收稿日期: 2015-01-09

基金项目: 山东省科学技术发展计划(编号: 2011GSF12108)。

作者简介: 柴明艳(1983—), 女, 山东菏泽人, 硕士, 助教, 主要从事生物发酵教研工作。E-mail: goodshine2013@163.com。