

董 芹,霍 焱,蒋 骏,等.油菜生育期气象指数等级及灾害预警指标研究[J].江苏农业科学,2015,43(10):84-90.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.026

油菜生育期气象指数等级及灾害预警指标研究

董 芹^{1,2},霍 焱¹,蒋 骏¹,裴善善²,吴建秋¹,姚丽娜¹,吴晶璐¹,陈宏波¹

(1.江苏省常州市气象局,江苏常州 213001;2.江苏省金坛市气象局,江苏金坛 213200)

摘要:应用 2004—2012 年金坛市气象局油菜试验田观测的生育数据和气象数据进行分析,结果表明,育苗移栽和直播栽培方式的不同导致油菜全生育期、播种期、苗期持续天数和气象要素出现较大差异,但对蕾薹期、开花期、成熟期影响较小;气象灾害对各生育期影响不同。(1)连阴雨主要影响苗期、蕾薹期、开花期;(2)寒潮主要影响苗期、蕾薹期;(3)暴雨在苗期和开花期偶有发生;(4)暴雪对苗期影响越来越大;(5)苗期低温冻害趋于严重,开花期低温影响趋小;(6)高温逼熟显著加重。利用 SPSS 软件中位数聚类法、专家调查法等,结合农业气象条件普查等,提出油菜生长需要的气象要素适宜与否区间及各生育期综合气象指数等级;通过气象灾害分析、灾情普查、专家指导等,得到不同气象灾害在各生育期的预警指标及综合预警等级。

关键词:油菜;生育期;气象指数等级;灾害预警指标;SPSS 中位数聚类法;农业气象灾害

中图分类号: S165 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0084-07

油菜作为冬季生长的唯一油料作物,其独具的优点是其他作物所无法比拟的,如改善土壤理化性质、根系有机酸溶解土壤磷素、茎秆果壳及落花落叶为难得的有机肥,油菜花供人们旅游观赏等,这也是气象工作者长期致力于研究油菜生长与气象关系的原因。随着当今油菜观测项目的丰富以及数据采集途径的增多,人们对油菜研究内容和形式更加多样化。陈秀斌对油菜生育进程差异及对温度日长要求、油菜器官发育对积温的要求等作了详细分析^[1];汤亮等研究构建了具有广适性和可靠性的油菜阶段发育与物候期预测模型^[2];杨永龙等阐明春性油菜各生育期与 0、5、7℃的积温有很好的相关性^[3];官春云指出,油菜受干旱影响将会造成内部生理机能受阻,生长发育推迟和花期缩短^[4]。但关于油菜生育期气象指数等级及农业气象灾害预警指标等的研究较少。

常州油菜自宋朝种植以来,面积不断扩大,尤其是改革开放之后,种植面积从 1981 年的 18 800 hm² 增至 1982 年的 27 800 hm²,至 2000 年达最多,为 49 653.3 hm²,随后 10 年面积快速萎缩,至 2012 年已不足 16 000 hm²,且 68% 集中在溧阳市境内。尽管如此,油菜在常州种植作物中仍占据着重要地位,与水稻、小麦齐称为“粮食三巨头”。因研究油菜生育期适宜气象条件、农业气象灾害预警指标,对开展油菜精细化气象服务、提高油菜产量和防御气象灾害很有必要。

1 资料的选取和处理

为近距离研究江苏省常州地区油菜生长与气象条件、灾害天气的关联度,自 2003 年起,金坛市气象局在观测站内建设了占地 1 300 m² 以上的油菜试验田,并实时记录油菜各生育阶段的起始时间。本研究主要选用 2004—2012 年(油菜为

跨年度作物,此处年份表示收获年份)间金坛局观测到的油菜生育数据与气象数据来进行对比分析,在研究过程中,将观测记录中的播种、出苗、第 5 真叶、移栽、成活、现蕾、抽薹、开花、开花盛期、绿熟、成熟等生育节点合并为 5 大生育期:播种期(播种至出苗)、苗期(出苗至现蕾)、蕾薹期(现蕾至开花)、开花期(开花到绿熟)、成熟期(绿熟到成熟)。

2 油菜不同生育期及气象要素

2.1 不同生育期起始时间

从表 1 看出,金坛市气象局试验田在油菜种植方式上采用了育苗移栽和直播种植(2006—2009 年)2 种,品种 2004—2005 年为史力丰,2006—2010 年为苏油 1 号和秦油 10 号,2011—2012 年为宝油 85 号,均与大田一致且为甘蓝型半冬性品种。采用育苗移栽方式油菜的播种时间主要集中在 9 月 18—27 日,而直播种植集中在 10 月 18—24 日,比育苗移栽晚了近 1 个月;出苗时间育苗移栽集中在 9 月 24 日至 10 月 20 日,直播栽培集中在 10 月 24 日至 11 月 2 日,时间相差 10~30 d;从现蕾开始,2 种植方式时间基本同步,主要集中在 2 月的中旬、下旬,现蕾最早是在 2 月 12 日(2007 年),最晚是在 3 月 6 日(2005 年);开花时间集中在 3 月中旬、下旬,最早为 3 月 15 日(2004 年),最晚为 3 月 31 日(2005 年);绿熟时间集中在 5 月上旬、中旬,最早为 5 月 6 日(2007 年),最晚为 5 月 18 日(2008 年);成熟收获时间集中在 5 月中旬至 6 月上旬,其中最早为 5 月 13 日(2007 年),最晚为 6 月 2 日(2010 年)。

2.2 不同生育期持续时间

不同生育期持续时间见表 2,油菜从播种至成熟,全生育期平均需要 230 d,其中最短 216 d(2008 年),最长 249 d(2011 年),直播种植比育苗移栽平均少 27 d。不同生育期持续天数为:播种期平均 6 d,其中最短 4 d,最长 9 d,均值以下有 6 年且 5 年为育苗移栽方式;苗期平均 131 d,其中最短 105 d,最长 151 d,均值以下有 4 年且均为直播种植;蕾薹期

收稿日期:2014-11-28

基金项目:江苏省气象局科研开发项目(编号:Q201101)。

作者简介:董 芹(1963—),女,湖北武汉人,高级工程师,主要从事气象预报服务工作。Tel:(0519)89806566;E-mail:dqexychy@163.com。

表 1 不同生育期起始时间及 5 大生育期的划分

| 生育期 | 生育阶段 | 生育期起始时间(月-日) | | | | | | | | |
|-----|---------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 |
| 播种期 | 播种 | 09-26 | 09-27 | 09-21 | 10-21 | 10-21 | 10-18 | 10-24 | 09-18 | 09-24 |
| 苗期 | 出苗 | 09-30 | 10-03 | 09-26 | 10-30 | 10-28 | 10-24 | 11-02 | 09-24 | 09-30 |
| | 5 真叶(始) | 10-23 | 11-01 | 10-20 | 11-30 | 12-04 | 11-22 | 12-16 | 10-10 | 10-18 |
| | 5 真叶(普) | 10-25 | 11-02 | 10-24 | 12-10 | 12-08 | 11-28 | 12-18 | 10-12 | 10-18 |
| | 移栽 | 11-07 | 11-16 | 11-50 | | | | | 10-21 | 10-27 |
| | 成活 | 11-12 | 11-21 | 11-10 | | | | | 10-24 | 10-31 |
| 蕾薹期 | 现蕾(始) | 02-13 | 03-06 | 02-16 | 02-12 | 02-26 | 02-12 | 02-22 | 02-22 | 02-20 |
| | 现蕾(普) | 02-17 | 03-10 | 02-20 | 02-14 | 02-29 | 02-14 | 02-26 | 02-24 | 02-24 |
| | 抽薹(始) | 02-18 | 03-08 | 02-18 | 02-14 | 02-29 | 02-14 | 02-26 | 02-26 | 02-24 |
| | 抽薹(普) | 02-21 | 03-10 | 02-22 | 02-18 | 03-04 | 02-16 | 02-28 | 03-02 | 02-29 |
| 开花期 | 开花(始) | 03-15 | 03-31 | 03-16 | 03-18 | 03-24 | 03-22 | 03-26 | 03-22 | 03-28 |
| | 开花(普) | 03-16 | 04-02 | 03-20 | 03-20 | 03-26 | 03-24 | 03-30 | 03-30 | 04-04 |
| | 开花盛期 | 03-16 | 04-06 | 03-24 | 03-24 | 03-31 | 03-30 | 04-02 | 04-06 | 04-10 |
| 成熟期 | 绿熟(普) | 05-11 | 05-13 | 05-13 | 05-60 | 05-18 | 05-80 | 05-16 | 05-08 | 05-14 |
| | 成熟(普) | 05-17 | 05-24 | 05-25 | 05-13 | 05-24 | 05-25 | 06-02 | 05-25 | 05-23 |

注:空白表示直播种植。

平均 31 d,其中最短 27 d,最长 37 d,均值以下有 4 年且育苗移栽占 3 年;开花期平均 50 d,其中最短 44 d,最长 58 d,均值以下有 5 年且育苗移栽占 3 年;成熟期平均 11 d,其中最短 6 d,最长 18 d,均值以下有 5 年且育苗移栽占 3 年。可见油菜生长过程中,苗期持续时间最长,占全生育期的 57%,其次

为开花期,占全生育期的 13%,最短的是播种期,仅为全生育期的 3%。同时育苗移栽和直播种植因播种时间不同而导致全生育期、播种期、苗期持续天数的差异,给后续气象要素的研究带来一定的影响,但蕾薹期、开花期、成熟期受影响较小,可以忽略不计。

表 2 油菜不同生育期持续时间

| 生育期 | 生育期持续时间(d) | | | | | | | | | |
|------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 平均 |
| 播种期 | 4 | 6 | 5 | 9 | 7 | 6 | 9 | 6 | 6 | 6 |
| 苗期 | 136 | 154 | 143 | 105 | 121 | 111 | 112 | 151 | 143 | 131 |
| 蕾薹期 | 31 | 25 | 28 | 34 | 27 | 38 | 32 | 28 | 37 | 31 |
| 开花期 | 57 | 44 | 58 | 49 | 55 | 47 | 50 | 47 | 47 | 50 |
| 成熟期 | 7 | 10 | 12 | 7 | 6 | 17 | 18 | 17 | 9 | 11 |
| 全生育期 | 235 | 239 | 246 | 204 | 216 | 219 | 221 | 249 | 242 | 230 |

2.3 不同生育期气象要素变化

种植方式的不同对播种期、苗期乃至全生育期都有较大影响,因此在分析全生育期、播种期、苗期气象要素变化情况时将进行分类研究,即将育苗移栽种植下的 2004—2006 年和 2011—2012 年(5 年)、直播种植下的 2007—2010 年(4 年)分别进行分析(表 3)。

2.3.1 全生育期 经统计育苗移栽种植方式下 5 年全生育期平均气温为 11.5℃,0℃以上积温(简称 0℃积温,下同)2 787.9℃,降水量 460.5 mm,日照时数 1190.2 h,雨日 69 d,相对湿度 72%,而直播种植方式下 4 年全生育期平均气温为 10.5℃,0℃以上积温 2 259.4℃,降水量 454.9 mm,日照时数 1 047.7 h,雨日 71 d,相对湿度 72%,可见 2 种植方式下气象要素的差别比较大,其中平均气温育苗移栽高直播种植 1.0℃,积温高 528.5℃,日照时数多 142.5 h,雨日少 2 d,但直播种植 0℃积温更满足油菜生长发育需要的 1 800 ~ 2 500℃的条件。

2.3.2 播种期 选取对油菜生长影响较大的气象要素即平均气温、0℃以上积温、降水量、日照时数进行分析。从表 3 可以看出,育苗移栽种植方式下,播种期均温平均值为

22.9℃,年最高为 25.2℃,年最低为 20.7℃;直播种植方式下,均温平均值仅为 19.2℃,比前者低了 3.7℃,且年最高为 22.0℃,最低为 17.8℃。0℃以上积温:育苗移栽种植方式平均为 123.5℃,年最多为 151.0℃,最少为 93.8℃;直播种植平均为 147.5℃,较育苗移栽种植方式多出 24℃,且年最多为 172.0℃,最少为 124.5℃。降水量:育苗移栽种植方式平均为 2.0 mm,年最多为 5.0 mm,最少为 0.0 mm;直播种植平均为 12.0 mm,较育苗移栽种植方式平均偏多 10.0 mm,且年最多为 15.2 mm,最少为 8.8 mm。日照时数:育苗移栽种植方式平均为 30.9 h,年最多为 49.8 h,最少为 5.6 h;直播种植平均为 37.0 h,比育苗移栽种植方式平均偏多 6.1 h,且年最多为 49.3 h,最少为 26.8 h。表明直播种植除播种期平均气温低于育苗移栽外,其他要素均较育苗移栽偏高或偏多。

2.3.3 苗期 从表 4 可以看出,育苗移栽方式,苗期温均平均值为 9.1℃,年最高 9.9℃,最低 8.6℃,而直播种植方式,苗期均温平均值为 6.6℃,较育苗移栽偏低 2.5℃,且年最高 7.7℃,最低 5.8℃。0℃以上积温:育苗移栽平均为 1 333.1℃,年最多 1 421.9℃,最少 1 276.5℃;直播种植平均为 742.5℃,较育苗移栽偏少 590.6℃,且年最多 848.1℃,

表 3 油菜从播种至出苗的平均气温、积温、降水量、日照变化

| 项目 | 育苗移栽 | | | | | | 直播种植 | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2011 年 | 2012 年 | 平均 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 平均 |
| 平均气温(℃) | 23.5 | 20.7 | 22.6 | 25.2 | 22.6 | 22.9 | 17.9 | 17.8 | 22.0 | 19.1 | 19.2 |
| 0℃以上积温(℃) | 93.8 | 124.1 | 113.1 | 151.0 | 135.6 | 123.5 | 161.4 | 124.5 | 132.1 | 172.0 | 147.5 |
| 降水量(mm) | 0.0 | 2.0 | 1.0 | 2.1 | 5.0 | 2.0 | 8.8 | 12.7 | 11.2 | 15.2 | 12.0 |
| 日照时数(h) | 39.0 | 35.0 | 5.6 | 49.8 | 25.0 | 30.9 | 35.6 | 36.4 | 26.8 | 49.3 | 37.0 |

最少 614.6℃。降水量:育苗移栽平均为 209.6 mm,年最多 319.4 mm,最少 121.5 mm;直播种植平均为 201.1 mm,较育苗移栽减少 8.5 mm,且年最多 289.1 mm,最少 127.1 mm;日照时数:育苗移栽平均为 660.3 h,年最多 839.4 h,最少

563.3 h;直播种植平均为 495.2 h,较育苗移栽偏少 165.1 h,且年最多 512.8 h,最少 486.1 h。表明直播种植在苗期所有气象要素均较育苗移栽偏低或偏少。

表 4 油菜苗期各气象要素变化

| 项目 | 育苗移栽 | | | | | | 直播种植 | | | | |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2011 年 | 2012 年 | 平均 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 平均 |
| 平均气温(℃) | 9.3 | 8.6 | 9.9 | 8.6 | 9.0 | 9.1 | 7.7 | 5.8 | 7.5 | 5.5 | 6.6 |
| 0℃以上积温(℃) | 1 276.5 | 1 339.3 | 1 421.9 | 1 324.2 | 1 303.6 | 1 333.1 | 803.5 | 703.9 | 848.1 | 614.6 | 742.5 |
| 降水量(mm) | 201.1 | 243.4 | 319.4 | 121.5 | 162.5 | 209.6 | 153.3 | 234.7 | 127.1 | 289.1 | 201.1 |
| 日照时数(h) | 662.4 | 563.3 | 588.8 | 839.4 | 647.8 | 660.3 | 487.4 | 494.6 | 512.8 | 486.1 | 495.2 |

2.3.4 蕾薹期 从图 1 至图 4 可以看出,2004—2012 年蕾薹期均温平均值为 8.8℃,各年变化区间在 7.2~10.2℃,均值以下共有 4 年,反映平均气温正以每年 0.2℃的速度在下降;0℃以上积温平均为 271.2℃,变化区间在 211.3~328.2℃,并呈现出两峰和两谷态势,且以每年 0.41℃的速度在缓慢增加;降水量平均为 84.6 mm,年变化区间在 30.9~141.7 mm,其中前 5 年均均在 100 mm 以下,但近 4 年中有 3 年(2009 年、2011 年、2012 年)超过了 100 mm,趋势以每年 7.7 mm 在增多;日照时数平均为 129.3 h,变化区间在 109.0~171.4 h,其中 6 年集中在 120~140 h 之间,趋势正以每年 1.1 h 的速度在减少。由此看出蕾薹期平均气温、日照时数随气候变化呈下降或减少趋势,但 0℃以上积温和降水量却在逐步上升或增多过程中。

2.3.5 开花期 从图 1 至图 4 可以看出,开花期 9 年均温平均值为 16.4℃,各年变化范围在 14.6~18.8℃,趋势变化平缓,9 年间仅上升 0.2℃;0℃以上积温平均为 826.1℃,变化范围在 731.4~950.9℃,其中前 6 年锯齿状变化明显,即 1 年多 1 年少,但后 3 年变为 2 年少 1 年多,且以每年 10.0℃的速度在减少;降水量平均为 128.4 mm,年变化在 34.7~246.2 mm,其中 100 mm 以上的有 6 年,占 66.7%,趋势为每年减少 11.8 mm;日照时数平均为 309.4 h,变化范围在 259.6~384.8 h,其中 300 h 以上的有 5 年,占 55.6%,趋势以每年 1.4 h 的速度在缓慢增多。可见开花期平均气温、日照时数随气候变化呈上升或增多趋势,但 0℃以上积温、降水量却呈现出快速下降和显著减少趋势。

2.3.6 成熟期 从图 1 至图 4 可以看出,2004—2012 年成熟期均温平均值为 21.8℃,各年变化范围在 20.6~24.1℃,趋势总体变化平缓,每年约降低 1.1℃;0℃以上积温平均为 245.0℃,变化区间在 123.3~380.8℃,高低差达到 257.5℃,说明各年之间变化剧烈,其中前 5 年保持在 260℃附近,但后 4 年中有 3 年超过了 370℃,说明该生育阶段积温上升速度非常显著,达到每年 20.7℃的速度;平均降水量为

31.9 mm,变化范围在 4.4~55.2 mm,呈现出两头多中间少的态势,其中 30 mm 以上有 6 年,占 66.7%,趋势正以每年 1.4 mm 的速度在小幅增多;平均日照时数为 67.6 h,变化区间在 19.7~124.0 h,整个过程呈现出阶梯上升态势,上升速度达到每年 9.2 h。表明成熟期平均气温随气候变化呈缓慢下降趋势,但 0℃以上积温、降水量、日照时数均呈现出上升或增多趋势,其中积温和日照时数的表现更加突出。

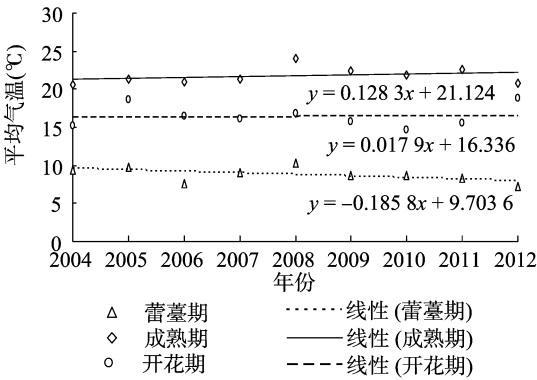


图 1 油菜蕾薹期、开花期、成熟期平均气温变化

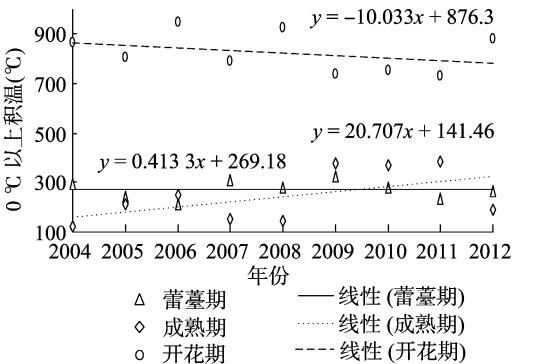


图 2 油菜蕾薹期、开花期、成熟期 0℃以上积温变化

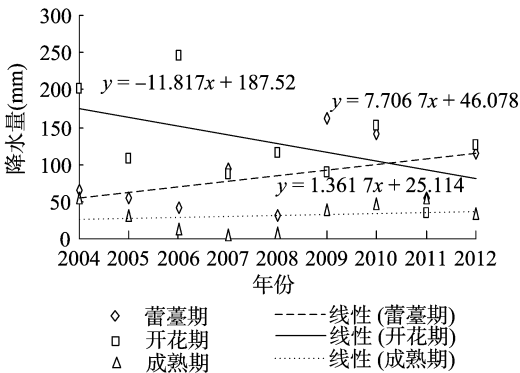


图3 油菜薹薹期、开花期、成熟期降水量变化

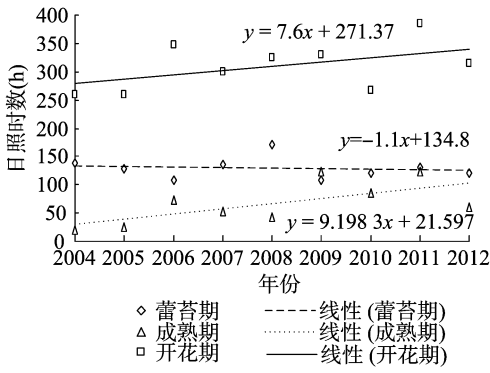


图4 油菜薹薹期、开花期、成熟期日照时数变化

3 不同生育期农业气象灾害影响

开花期低温、灌浆成熟期高温逼热、连阴雨、寒潮、暴雨、大雪等。不同各生育期江苏金坛油菜发生的农业气象灾害见表 5、表 6。

油菜一生中最害怕的农业气象灾害有:苗期低温冻害、

表 5 油菜不同生育期气象灾害影响情况

| 灾害天气 | 生育期 | 灾害天气(次数/年) | | | | | | | | | |
|------|-----|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| | | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 合计 |
| 连阴雨 | 播种期 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | 苗期 | 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 0 | 3 | 1 | 2 | 19 |
| | 薹薹期 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 | 7 |
| | 开花期 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 |
| | 成熟期 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 寒潮 | 苗期 | 3 | 0 | 3 | 1 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 21 |
| | 薹薹期 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | 开花期 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 暴雨 | 苗期 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 开花期 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 大雪 | 苗期 | 2 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 9 |

表 6 油菜不同生育期农业气象灾害发生情况

| 生育期 | 灾害天气指标 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 | 2009 年 | 2010 年 | 2011 年 | 2012 年 | 合计 |
|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 苗期低温冻害 | 时间(d) | 2 | 3 | 1 | 1 | 6 | 7 | 4 | 7 | 8 | 39 |
| | 最低温度(℃) | -6.4 | -6.8 | -6.8 | -5.2 | -7.6 | -8.2 | -5.7 | -9.5 | -6.7 | |
| | 最长连续时间(d) | | 3 | | | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | |
| 开花期低温 | 最低温度(℃) | 2.5 | 5.2 | 4.2 | 1.5 | 5.6 | 2.0 | 0.6 | 2.9 | 5.7 | |
| | 连续≤5℃时间(d) | | | | | | 2(2次) | 3 | 3(2次) | | |
| 灌浆成熟期 | 天数(d) | 4 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 14 | 5 | 45 |
| | 最高温度(℃) | 34.1 | 34.3 | 32.7 | 31.6 | 33.3 | 35.0 | 32.9 | 36.5 | 32.6 | |
| | 最长连续时间(d) | 3 | 3 | 2 | 0 | 4 | 4 | 2 | 5 | 3 | |

3.1 连阴雨(5 d 以上)

从表 5 可以看出,连阴雨在各生育期都有发生,其中出现次数最多的是苗期,共 19 次,基本为 1 年 2 次,持续时间最长达 10 d,出现在 2006 年 1 月 12—21 日;其次为薹薹期和开花期,分别为 7 次和 4 次,基本达 1 年 1 次和 2 年 1 次,薹薹期持续时间最长为 12 d,出现在 2009 年 2 月 22 日至 3 月 5 日,开花期持续时间最长为 6 d,出现在 2004 年 4 月 29 日至 5 月 4 日;最少为播种期和成熟期,各出现 1 次。可见连阴雨是苗期、薹薹期、开花期的主要灾害天气,其中对渍害敏感性依次为薹薹期、开花期、苗期^[5-6]。

3.2 寒潮

寒潮过程主要发生在苗期、薹薹期、开花期(表 5),共计 29 次,其中苗期占 21 次,薹薹期、开花期分别占 6 次和 2 次。

苗期最大降温幅度在 8.0~11.7℃,最低气温达 -5.2℃,年最多出现 4 次;薹薹期最大降温幅度在 9.0~12.2℃,最低气温达 -0.1℃,年最多出现 2 次,且随时间变化有减少趋势;开花期最大降温幅度在 8.2~9.4℃,最低气温达 2.5℃,年最多出现 2 次。表明寒潮影响最大的以苗期和薹薹期为主。

3.3 暴雨

暴雨主要出现在苗期、开花期,共 3 次,其中苗期 1 次,开花期 2 次。苗期最大降雨量为 50.7 mm,出现在 2005 年 11 月 5 日;开花期最大降雨量为 55.2 mm,出现在 2006 年 4 月 21 日(表 5)。暴雨影响明显小于连阴雨和寒潮天气,但开花期的突发暴雨应给予重视。

3.4 大雪

大雪天气(24 h 降雪量≥5 mm)主要出现在苗期(表 5),

共 9 次,发生频次基本为 2 年 1 次以上,且出现时间大多集中在 1 月下旬至 2 月中旬,其中 2008 年 1 月 26—28 日为连续 3 d 暴雪,降雪量累计达到了 51.8 mm,积雪深度 31 cm。可见大雪或暴雪的频发,对苗期的影响将越来越大。

3.5 苗期低温冻害

苗期低温冻害是指气温降至 $-3 \sim -5$ °C 状态,叶片开始受冻, $-7 \sim -8$ °C 受害较重,如伴有大风出现,冻害更加严重。2011 年苗期后期,油菜受到低温(最低气温 -9.5 °C)影响,叶片遭到严重冻害。统计历年日最低温度 ≤ -5 °C 的天数、最低温度、连续天数等(表 6)。从表 6 可以看出,2004—2012 年共出现 39 d 低温天气,其中 2012 年最多,为 8 d;日极端最低温度为 -9.5 °C,出现在 2011 年;连续低温天数最多为 4 d,出现在 2012 年,并且苗期低温冻害随时间有加重趋势,其中年天数由 2004 年的 2 d 增加到 2012 年的 8 d,低温值也明显走低,由 2004 年的 -6.4 °C 降到 2011 年的 -9.5 °C,连续发生天数由 3 d 也增加至 4 d。

3.6 开花期低温

开花期低温是指开花期气温骤降至 5 °C 油菜将停止开花,0 °C 以下的低温或冰天雪地可受冻致死,甚至整个花序、花蕾枯萎脱落。从表 6 可以看出,2004—2012 年开花期内,金坛试验田从未出现 0 °C 以下低温,最低气温为 0.6 °C,出现在 2010 年;5 °C 以下低温出现年份共有 6 年,占总年份的 66.7%,其中低温连续在 5 °C 以下的有 3 年,分别为 2009 年 2 d (2 次)、2010 年 3 d、2011 年 3 d (2 次),表明开花期油菜受 0 °C 冻害较轻,但 5 °C 以下低温影响较大,并且随着气候变暖变得愈加明显。

3.7 灌浆成熟期高温逼熟

高温逼熟是指油菜灌浆成熟期日最高气温 ≥ 30 °C,造成高温逼熟以致减产。从表 6 可以看出,历年油菜自开花至成熟 ≥ 30 °C 高温天气总共出现了 45 d,最多为 14 d,出现在 2011 年,因而造成该年油菜籽千粒质量大幅下降和产量下降;其次为 2008 年、2012 年,各 5 d。最高温度为 36.5 °C,出现在 2011 年,其次为 35.0 °C,出现在 2009 年,最低的为 31.6 °C,出现在 2007 年。连续 ≥ 30 °C 的天数最多 5 d,出现在 2011 年,其次为 2008 年、2009 年,各 4 d,最少的为 2007 年,1 次也没有出现。由此看出,高温天气在不断增多,表明高温逼熟灾害有加重的趋势。

4 油菜不同生育期综合气象指数等级划分和气象灾害预警指标的确定

4.1 油菜不同生育期气象指数等级的划分

应用 SPSS 软件提供的中位数聚类法^[7]和 Excel 软件提供的散点图分类等,对影响金坛油菜生长的主要气象要素,如日平均气温、日照时数、生育期降水量、生育期雨日数等进行密集区、次密集区、稀疏区的划分,并以此初定为气象条件适宜与否的量化区间,以播种期日平均气温为例,2004—2012 年播种期累计 58 d,经过中位数聚类分析后,所得到的气温密集区、次密集区、稀疏区分别对应于 $> 15 \sim < 26$ °C、 ≤ 15 °C、 ≥ 26 °C,SPSS 聚类分析应用界面以及播种期最终分为 3 类的树状联接见图 5、图 6。



图5 SPSS 中位数聚类分析应用界面

结合专家调查、文献查阅^[8-11],以及参照油菜历年生育期农业气象条件普查和生育期气象条件的分析等,对所划分的区间进行适当调整,最终得到各生育期不同气象要素最适宜、较适宜、不适宜的划分区间,并分别对应等级 1 级、2 级、3 级(表 7)。

各生育期综合气象指数等级的确定,是基于各气象要素等级基础上,采取“多数优先、对等取中”的原则,即不同气象要素等级相同时,气象指数等级取同级;当各自等级不同时,以多数为准,否则取中间等级,同样以播种期为例,当日平均气温、生育期降水量、生育期雨日数同均处 1 级、最适宜时,综合气象指数等级则为 1 级,表示最适宜;当日平均气温、生育期降水量、生育期雨日数分别出现 2 级、2 级、3 级时,根据多数优先原则,综合气象指数等级则为 2 级,表示较适宜。

4.2 油菜不同生育期气象灾害预警等级的确定

根据各生育期气象灾害影响程度分析,结合 2004—2012 年间金坛油菜试验田灾情普查情况,如 2004 年成熟期受降水多及持续大风影响,油菜果果不饱满、空角较多、千粒质量明显下降、产量明显下降;2008 年苗期油菜接连受到强寒潮和连续暴雪侵袭,造成油菜严重受冻,旱地油菜叶柄折断,渍害十分严重;2012 年蕾薹期出现连续低温寡照天气,致使油菜根系活力受到影响,生育期也相应推迟 1 周以上,同时参考相关文献^[12-14]和农业专家的指导意见,归纳和确定了油菜各生育期不同农业气象灾害 1 级、2 级、3 级(轻度危害、中度危害、重度危害)的预警阈值,结果见表 8。油菜不同生育期最终综合预警等级的确定,规定以不同气象灾害中最高预警级别为准,譬如油菜苗期中同时出现了大雪、连阴雨、寒潮、低温冻害 4 种不同灾害,且各自预警最高级别分别为 1、2、2、3 级,根据规定,生育期综合预警等级为 3 级,表示可能出现重度危害。

5 结论与讨论

本研究对 2004—2012 年江苏省金坛市气象局试验田观测到的油菜生育资料及同时期气象资料进行了对比分析,结果表明,育苗移栽种植的油菜播种时间较直播栽培早 1 个月,出苗时间早 10~30 d,但现蕾之后二者时间上逐渐实现同步;全生育期平均时长 230 d,但直播种植比育苗移栽平均少 27 d,生育期中以苗期时间最长,达全生育期的 57%,其次为开花期,达全生育期的 13%,最少的是播种期,不足全生育期的 3%。

育苗移栽和直播栽培种植时间的不同,不仅造成 2 种种

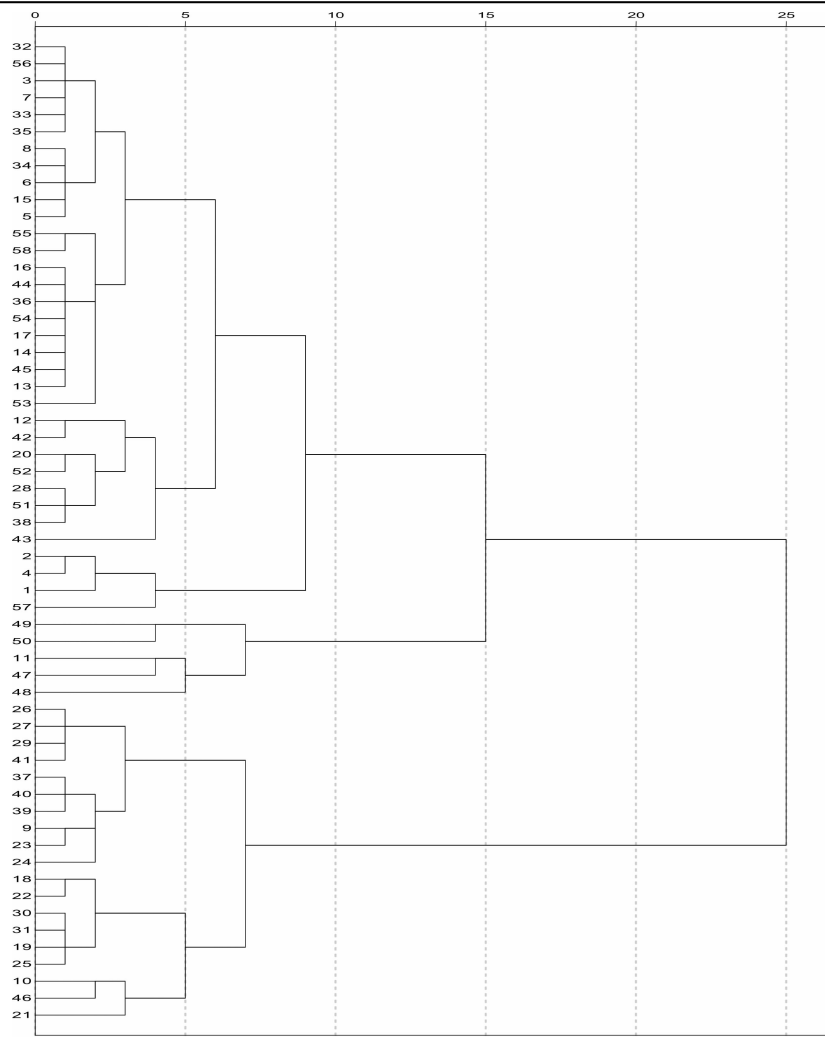


图6 播种期分类树状联接

表 7 油菜不同生育期气象条件适宜与否等级划分

| 生育期 | 气象要素 | 适宜性及量化区间 | | |
|-----|------------|-----------|---------------------------|---------------|
| | | 最适宜(1 级) | 较适宜 (2 级) | 不适宜(3 级) |
| 播种期 | 日平均气温(℃) | 18 ~ 24 | > 24 ~ < 26 或 > 15 ~ < 18 | ≥ 26 或 ≤ 15 |
| | 生育期降水量(mm) | 5 ~ 10 | > 0 ~ < 5 或 > 10 ~ < 15 | ≥ 15 或无降水 |
| | 生育期雨日天数(d) | 1 ~ 2 | 3 | ≥ 4 或 0 |
| 苗期 | 出苗时平均气温(℃) | 10 ~ 20 | 5 ~ < 10 或 > 20 ~ 25 | > 25 和 < 5 |
| | 移栽时平均气温(℃) | 12 ~ 18 | 7 ~ > 12 或 > 18 ~ 22 | > 22 或 < 7 |
| | 逐日日照时数(h) | ≥ 7 | 4 ~ 6 | ≤ 3 |
| | 生育期降水量(mm) | 160 ~ 220 | 120 ~ < 160 或 > 220 ~ 320 | > 320 或 < 120 |
| 蕾薹期 | 日平均气温(℃) | 5 ~ 12 | 2 ~ < 5 或 > 12 ~ 20 | > 20 或 < 2 |
| | 生育期降水量(mm) | 60 ~ 130 | 50 ~ < 60 或 > 130 ~ 170 | > 170 或 < 50 |
| | 逐日日照时数(h) | 8 ~ 11 | 5 ~ 7 | ≤ 4 |
| 开花期 | 日平均气温(℃) | 14 ~ 22 | 5 ~ < 14 或 > 22 ~ 25 | > 25 或 < 5 |
| | 生育期降水量(mm) | 120 ~ 200 | 50 ~ < 120 或 > 200 ~ 240 | > 240 或 < 50 |
| | 逐日平均日照(h) | 9 ~ 12 | 7 ~ 8 或 > 12 | 0 ~ 6 |
| | 生育期雨日数(d) | 18 ~ 19 | 10 ~ 17 或 20 ~ 22 | > 22 或 < 10 |
| | 日相对湿度(%) | 70 ~ 80 | 50 ~ 69 或 81 ~ 90 | > 90 或 < 50 |
| 成熟期 | 日平均气温(℃) | 19 ~ 25 | 16 ~ < 19 或 > 25 ~ 28 | > 28 或 < 16 |
| | 逐日日照时数(h) | 10 ~ 12 | 6 ~ 9 或 > 12 | < 6 |
| | 生育期降水量(mm) | 30 ~ 50 | 5 ~ < 30 或 > 50 ~ 60 | > 60 或 < 5 |

表 8 油菜不同生育期不同农业气象灾害预警阈值

| 生育期 | 农业气象灾害 | 预警等级阈值 | | |
|-----|------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| | | 1 级(轻度危害) | 2 级(中度危害) | 3 级(重度危害) |
| 播种期 | 干旱 | 降水量 <1 mm | 持续无降水 | |
| | 连阴雨 | 3~4 d | ≥5 d | |
| 苗期 | 大雪 | 5.0~7.9 mm | 8.0~9.9 mm | 暴雪(≥10.0 mm)或连续大雪累计≥10.0 mm |
| | 连阴雨 | 5~9 d,1 次 | 5~9 d,2~3 次 | 连续≥10 d 或 5~9 d 且累计 4 次以上 |
| | 寒潮(最大降温) | 气温骤降 8~10 ℃,1 次 | 气温骤降 8~10 ℃,2 次 | 气温骤降 >10 ℃或骤降 8~10 ℃且 2 次以上 |
| | 低温冻害 | ≤-5 ℃,1~2 d | ≤-5 ℃,连续 3 d | ≤-5 ℃,连续 3 d 以上 |
| 蕾薹期 | 降雪 | <3 mm | 3~5 mm | >5 mm |
| | 连阴雨 | 5~7 d | 8~9 d | 10~12 d 或多段累计≥10 d |
| | 寒潮(最大降温) | 8~10 ℃ | >10~12 ℃ | >12 ℃或 8~10 ℃且≥2 次 |
| | 大风 | 5 级以上,1 d | 5 级以上,2 d | 5 级以上且连续 >2 d |
| 开花期 | 连阴雨 | 3~4 d | 5~6 d | >6 d 或 5~6 d 且≥2 次 |
| | 大风 | 5 级以上,1 d | 5 级以上,2 d | 5 级以上且连续 >2 d |
| | 寒潮(最大降温) | 8 ℃ | 9~10 ℃ | >10 ℃或 8~10 ℃且≥2 次 |
| | 低温冻害 | 0 ℃左右,1 d | 0 ℃左右,2~3 d | 0 ℃左右,>3 d |
| 成熟期 | ≥30 ℃高温 | 2~3 d 不连续 | 2~3 d 连续或 4~5 d 不连续 | >3 d 连续或 >5 d 不连续 |
| | 大雨(≥30 mm) | 1 d | 2 d 不连续 | 1 d 伴 5 级大风或连续 2 d 以上 |
| | 连阴雨 | 3 d | 4~5 d | 5 d 以上 |
| | 大风 | 5 级以上,1 d | 5 级以上,2 d | 5 级以上且≥3 d |
| | ≥30 ℃高温 | 1~2 d 不连续 | 3 d 不连续或连续 2 d | ≥4 d 不连续或连续≥3 d |
| | 冰雹 | | | ≥1 次 |

植方式油菜在全生育期、播种期、苗期时长上的不同,而且导致各自气象要素也出现了明显差异,就全生育期而言,前者较后者平均气温偏高 1.0 ℃、0 ℃以上积温偏多 528.5 ℃、日照时数偏多 142.5 h,降水量基本接近。蕾薹期、开花期、成熟期基本不受种植方式的影响。

油菜生长过程中遇到的农业气象灾害众多,但各生育期影响程度不同。(1)连阴雨是苗期、蕾薹期、开花期的主要灾害天气;(2)寒潮影响最大的是苗期和蕾薹期;(3)暴雨在苗期和开花期偶有出现,影响相对较小,开花期突发暴雨要给予重视;(4)大雪或暴雪频发,对苗期影响越来越大;(5)苗期低温冻害随时间有加重趋势,开花期受低温影响几率减小;(6)高温逼熟灾害有明显加重趋势。

应用 SPSS 软件中位数聚类法、Excel 软件散点图分类法、专家调查法、文献查阅法,结合生育期农业气象条件普查、生育期气象条件分析结果等,划分出不同气象要素如平均气温、日照时数、降水量等在各生育期的适宜与否区间,分最适宜、较适宜、不适宜 3 级表示,并基于“多数优先、对等取中”的原则,最终确定各生育期的综合气象指数等级。

根据各生育期气象灾害影响程度分析,结合历年油菜灾情普查,并参考大量相关文献和农业专家的指导意见,归纳总结出油菜各生育期不同农业气象灾害预警阈值,分 3 级表示,即轻度、中度、重度。各生育期综合预警等级的确定,则以不同气象灾害中预警最高级别的为准。

参考文献:

[1]陈秀斌. 不同熟期油菜品种在早晚播下生长发育及产量比较研究[D]. 武汉:华中农业大学,2013:13-40.

[2]汤 亮,朱 艳,刘铁梅,等. 油菜生育期模拟模型研究[J]. 中国农业科学,2008,41(8):2493-2498.

[3]杨永龙,王润元,刘明春,等. 高海拔山区油菜生育期对积温的响应及其在区划中的应用[J]. 江苏农业科学,2012,40(5):55-58.

[4]官春云. 2008 年低温冰冻灾害对湖南油菜生长发育和产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2008,30(增刊):6-8.

[5]宋丰萍,胡立勇,周广生. 渍水时间对油菜生长及产量的影响[J]. 作物学报,2010,36(1):170-176.

[6]伊淑丽,徐洪志,廖淑梅,等. 油菜湿害及其防治措施研究进展[J]. 南方农业,2012,6(1):83-85.

[7]薛 薇. 统计分析与 SPSS 的应用[M]. 北京:中国人民大学出版社,2001:225-236.

[8]吴利红,娄伟平,柳 苗,等. 油菜花期降水适宜度变化趋势及风险评估[J]. 中国农业科学,2011,44(3):620-626.

[9]黄淑娥,祝必琴,辜晓青,等. 鄱阳湖地区油菜生产气象条件分析与种植气候区划[J]. 江西农业大学学报,2009,31(5):945-949.

[10]童明达,王文军. 气象条件对油菜生产影响分析研究[J]. 上海农业科技,2008(6):64-66.

[11]叶海龙,吴海镇. 气象因子预测油菜盛花期的探讨[J]. 浙江农业科学,2013(9):1080-1081.

[12]陆魁东,彭莉莉,黄晚华,等. 气候变化背景下湖南油菜气象灾害风险评估[J]. 中国农业气象,2013,34(2):191-196.

[13]王 斌,荣维国,何 金,等. 干旱对油菜生长发育的影响及应对管理措施[J]. 现代农业科学,2009,16(6):180-181.

[14]杜春芳,咸拴狮,李建勋,等. 晋南地区油菜主要气象灾害与减灾避灾对策[J]. 山西农业科学,2010,38(8):57-60.