

超级杂交稻组合的产量性状和株叶形态分析

董习华, 张士陆, 张荣, 程秀萍, 汪丽, 罗跃进, 熊忠炯, 王学会, 杨志朝

(安徽省安庆市农科所, 安徽安庆 246003)

摘要 [目的] 为长江中下游地区实现新的超级杂交稻育种目标提供依据。[方法] 以汕优63 为对照, 采用完全随机区组设计, 对11 个超级杂交稻组合的产量性状和株叶形态进行分析。[结果] 11 个组合的产量均高于对照, 但有效穗数、结实率和千粒重的平均值均比对照低。有效穗数、穴穗重、一次枝梗数、二次枝梗数、穗粒数、单穗粒重与产量呈正相关。株型优势与产量明显相关, 各产量性状之间相互影响。红莲优6 号、88S/747、优明86、88S/0293 有明显的株型优势, 增产幅度均在25% 以上。[结论] 超级杂交稻主要增产因子是穴穗重、穗粒数、单穗粒重、二次枝梗数、有效穗数和一次枝梗数, 株型优势与产量有明显的关系, 株叶形态符合“长、直、窄、凹、厚”的标准。

关键词 超级杂交稻; 产量性状; 相关分析; 株叶形态

中图分类号 S511 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)36-11789-03

Analysis of the Yield Characteristics and Plant-leaf Types in Super Hybrid Rice Combinations

DONG Xi-hua et al (Anqing Institute of Agricultural Sciences, Anqing, Anhui 246003)

Abstract [Objective] The research aimed to provide basis for realizing new breeding objects of super hybrid rice in middle and downstream of Yangtze River. [Method] With Shanyou 63 as CK, the yield characteristics and plant-leaf types in 11 super hybrid rice combinations were analyzed by completely randomized block design. [Result] The yields of 11 combinations were all higher than that of CK, but the average values of effective panicles, seed setting rate and 1 000-grain weight in 11 combinations were all lower than that of CK. Effective panicles, panicle weight per hole, the number of primary branches, the number of secondary branches, grains per spike and grain weight per spike all showed positive correlations with the yield. The plant-type advantages had an obvious relation with the yield. Each yield characteristics were affected by each other. Honglianyou 6, 88S/747, JM Youming 86 and 88S/0293 had obvious plant-type advantages and their yield increasing extents were all over 25%. [Conclusion] Main yield-increasing factors were panicle weight per hole, grains per spike, grain weight per spike, the number of secondary branches, effective panicles and the number of primary branches. Plant-leaf types accorded with the standards of "long, straight, narrow, concave and thick".

Key words Super hybrid rice; Yield characteristics; Correlation analysis; Plant-leaf type

安庆地区位于长江下游上段的北岸, 地理坐标为 115°46'~117°44' E, 29°47'~31°17' N, 是双季稻种植的北限, 为了进一步明确超级杂交稻在安庆地区的种植表现, 2006 年笔者与湖南杂交水稻研究中心联合开展了超级杂交稻超高产目标性状的研究, 探索长江流域不同生态区对超级杂交稻超高产产量性状的要求, 为实现超级杂交稻育种第3 期目标提供理论依据, 同时筛选出适于该地推广种植的超级杂交稻新组合。

1 材料与方法

1.1 供试材料 超级杂交稻组合: 两优培九、准两优527、优明86、88S/0293、88S/747、Y 优1 号、GD1S/RB207、C 两优87、协优9308、国稻1 号、红莲优6 号, 以汕优63 为对照。

1.2 试验方法 试验于2006 年在安庆市农科所进行, 试验田土质为沙壤土, 肥力中等。完全随机区组设计, 3 次重复, 小区面积 13.14 m²。5 月8 日播种, 湿润育秧, 6 月1 日栽插, 每小区栽300 株, 穴栽1 粒谷苗。移栽规格 19 cm × 26 cm, 按超高产栽培管理, 施纯 N 225、P₂O₅ 120、K₂O 240 kg/hm², 其中 N、P 以基肥为主, 基肥中含 N 量占总施 N 量的 65%。田间肥水管理与超级杂交稻大田生产相同。

1.3 测定项目

1.3.1 株叶形态。于齐穗期, 每小区取5 株主茎测定上3 叶(剑叶、倒2 叶、倒3 叶)的长、宽、叶缘距、基角、开张角、披垂角和卷叶指数。单叶面积按邓启云方法计算^[1]。

1.3.2 比叶重。齐穗期取测量叶面积的5 株主茎上3 叶分别放入牛皮纸袋, 烘箱 105℃ 杀青, 30 min 后置 80℃ 烘至

恒重(24 h), 放入干燥器内冷却至室温, 称重, 计比叶重。

1.3.3 干物质。于成熟期, 每小区取生长整齐一致的代表性植株3 穴, 把穗和茎叶分别放入牛皮纸袋, 烘箱 105℃ 杀青, 30 min 后置 80℃ 烘至恒重(24 h), 再放入干燥器内冷却至室温, 称重。

1.3.4 产量及产量性状。于成熟期, 每小区取20 株调查有效穗数, 测量株高、茎基部粗, 并取5 穴室内考察其穗长、一次枝梗数、二次枝梗数、穗粒数、结实率、千粒重、单穗粒重。

2 结果与分析

2.1 超级杂交稻组合的产量性状分析

2.1.1 超级杂交稻产量性状比较。由表1 知, 11 个超级杂交稻组合的产量均高于对照汕优63, 增幅为 0.11~3.16 t/hm², 平均增幅 1.54 t/hm²。其中红莲优6 号增产 36.6%, 88S/747 增产 33.4%, 优明86 增产 26.7%, 88S/0293 增产 26.5%, 两优培九增产 22.9%, 准两优527 增产 18.0%, C 两优87 增产 10.5%, 与 CK 差异均极显著; Y 优1 号增产 8.7%, GD1S/RB207 增产 6.2%, 协优9308 增产 4.8%, 与 CK 差异均显著; 国稻1 号增产 1.3%, 与 CK 差异不显著。

从其他性状来看, 穗长平均 27.6 cm, 比 CK 长 0.3 cm; 穴穗重平均 45.4 g, 比 CK 重 5.1 g; 穴茎叶重平均 27.1 g, 比 CK 重 0.5 g; 一次枝梗数平均 15.4, 比 CK 多 2.7; 二次枝梗数平均 39.3, 比 CK 多 13.0; 穗粒数平均 217.9 粒, 比 CK 多 61.7 粒; 单穗粒重平均 6.0 g, 比 CK 重 1.5 g; 有效穗数平均 205 万穗/hm², 比 CK 少 20 万穗/hm²; 结实率平均 83.5%, 比 CK 低 0.4%; 千粒重平均 28.2 g, 比 CK 低 2.1 g。分析结果表明, 超级杂交稻的“库”都很大, 但部分组合的“源”不够充足^[2-3], 表现在结实率和千粒重不够高。因此, 在育种和栽培上, 应以适当控制穗数来提高穗粒数, 调节穗粒数、结实粒和千粒重的平衡。

项目来源 安徽省粮食丰产工程项目编号(06023042); 湖南杂交水稻研究中心合作项目。

作者简介 董习华(1966-), 男, 安徽宿松人, 高级农艺师, 从事植保和水稻推广工作。

收稿日期 2007-09-11

2.1.2 产量与性状的相关性。表2 表明,有效穗数、穴穗重、一次枝梗数、二次枝梗数、穗粒数、单穗粒重与产量呈正相关,相关性大小顺序为:穴穗重>单穗粒重>穗粒数>二次枝梗数>有效穗数>一次枝梗数,其中,穴穗重与产量在

0.01 水平呈显著正相关;而穗长、穴茎叶重、结实率、千粒重与产量呈负相关。分析结果表明,超级杂交稻主要以增加穴穗重、穗粒数及二次枝梗数来实现超高产。

2.1.3 性状间的相关性。穴穗重与穗粒数在0.05 水平显著

表1 超级杂交稻组合的产量性状

| 组合 | 穗长 cm | 有效穗数 $\times 10^5/\text{hm}^2$ | 穴穗重 g | 穴茎叶重 g | 一次枝 梗数 | 二次枝 梗数 | 穗粒数 | 结实率 % | 千粒重 g | 单穗粒重 g | 产量 t/hm ² |
|------------|----------|-----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|----------|-----------|-------------------------|
| 红莲优6号 | 26.1 | 22.5 | 53.1 | 29.3 | 14.7 | 42.6 | 233.3 | 86.3 | 27.1 | 4.8 | 11.80** |
| 88S/747 | 27.0 | 22.5 | 51.3 | 26.2 | 17.4 | 50.4 | 261.6 | 71.4 | 28.4 | 4.7 | 11.53** |
| 优明86 | 28.5 | 21 | 41.4 | 23.6 | 15.1 | 36.5 | 206.5 | 87.9 | 28.0 | 4.6 | 10.95** |
| 88S/0293 | 26.4 | 19.5 | 49.2 | 28.1 | 15.6 | 45.8 | 239.9 | 84.6 | 26.7 | 4.9 | 10.93** |
| 两优培九 | 26.8 | 21 | 48.2 | 27.5 | 15.8 | 43.5 | 230.5 | 80.6 | 26.7 | 4.5 | 10.62** |
| 准两优527 | 28.1 | 21 | 43.6 | 29.6 | 14.0 | 24.5 | 163.8 | 90.6 | 31.8 | 4.1 | 10.20** |
| C两优87 | 26.3 | 21 | 44.7 | 23.7 | 14.6 | 30.8 | 188.7 | 85.6 | 28.7 | 4.2 | 9.55** |
| Y优1号 | 27.9 | 21 | 41.5 | 22.2 | 15.5 | 30.9 | 182.2 | 90.8 | 26.6 | 3.9 | 9.39** |
| GD1S/RB207 | 28.3 | 16.5 | 42.1 | 23.1 | 17.3 | 51.5 | 257.6 | 73.7 | 30.2 | 5.0 | 9.18* |
| 协优9308 | 28.7 | 18 | 42.9 | 37.4 | 15.1 | 43.6 | 237.0 | 86.9 | 26.8 | 4.9 | 9.06* |
| 国稻1号 | 29.2 | 19.5 | 41.3 | 27.0 | 13.9 | 32.6 | 195.6 | 80.4 | 29.6 | 4.1 | 8.76 |
| 汕优63(CK) | 27.3 | 22.5 | 40.3 | 26.6 | 12.7 | 26.3 | 156.2 | 83.9 | 30.3 | 3.5 | 8.64 |

注:*、** 分别表示0.05、0.01 水平的差异显著。

表2 超级杂交稻组合的产量性状相关系数

| 穗长 | 有效穗数 | 穴穗重 | 穴茎叶重 | 一次枝梗数 | 二次枝梗数 | 穗粒数 | 结实率 | 千粒重 | 单穗粒重 | 产量 |
|----|----------|------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | -0.479 0 | -0.743 4** | 0.112 6 | -0.088 4 | -0.174 5 | -0.165 9 | 0.041 2 | 0.332 7 | -0.100 7 | -0.561 4 |
| | | 0.251 8 | -0.308 2 | -0.399 0 | -0.501 9 | -0.499 7 | 0.272 6 | 0.039 1 | -0.570 7 | 0.404 1 |
| | | | 0.192 0 | 0.392 0 | 0.546 6 | 0.585 8* | -0.271 2 | -0.424 4 | 0.516 1 | 0.836 7** |
| | | | | -0.209 4 | 0.121 1 | 0.167 2 | 0.185 7 | -0.157 1 | 0.288 9 | -0.001 3 |
| | | | | | 0.840 0** | 0.835 8** | -0.613 2* | -0.317 8 | 0.706 9* | 0.392 6 |
| | | | | | | 0.990 8** | -0.673 1* | -0.434 8 | 0.877 0** | 0.426 4 |
| | | | | | | | -0.642 1* | -0.448 3 | 0.908 4** | 0.465 8 |
| | | | | | | | | -0.143 5 | -0.355 8 | -0.079 7 |
| | | | | | | | | | -0.399 3 | -0.369 4 |
| | | | | | | | | | | 0.500 7 |

注:*、** 分别表示0.05、0.01 水平的显著性。

正相关;一次枝梗数与二次枝梗数、穗粒数在0.01 水平显著正相关,与单穗粒重在0.05 水平显著正相关,与结实率在0.05 水平显著负相关;二次枝梗数与穗粒数、单穗粒重在0.01 水平显著正相关,与结实率在0.05 水平显著负相关;穗粒数与单穗粒重在0.01 水平显著正相关,与结实率在0.05 水平显著负相关。分析结果表明,各性状间的关系是相互影响的,穗部一、二次枝梗的多少决定了穗粒数,对产量有直接的影响,但穗大粒多对营养的要求就高,如果“源”跟不上结实率和千粒重就会受到影响,籽粒的充实度不够好,空秕粒增加,最终还是不能实现超高产。

2.2 超级杂交稻组合的株叶形态

2.2.1 超级杂交稻组合的株叶形态特征。自从1968 年澳大利亚的 Donald 提出理想株型的概念以来,国内外不少育种专家围绕这一育种上的重要主题开展了研究,设计了各种超高产水稻的理想株型模式^[2-7]。1997 年,中国著名的水稻育种专家袁隆平院士,针对长江中下游生态区的中熟中稻,设计出了超级杂交水稻的株叶形态模式^[3],其主要指标是:株高100 cm 左右,穗长25~30 cm;剑叶长50 cm 左右,倒2 叶比剑叶长10%,倒3 叶到达穗中部;剑叶、倒2 叶、倒3 叶的夹角分别为5°、10°、20°左右;叶平展宽2 cm 左右;比叶重达9.8

ng/cm²。从表3 可见,参试的11 个超级杂交稻组合基本上都具有“长、直、窄、凹、厚”的共同特征,茎秆粗壮。但有些指标并不完全符合,其差异主要表现在:株高偏高,剑叶还不够长,剑叶的角度偏大,叶片还不够厚。

2.2.2 超级杂交稻组合的株叶形态优势。优良的株叶形态可以提高光合产物“源”的供应能力^[3]。对于超级杂交稻组合的形态优势和光合优势,国内外许多专家一致认为:叶片直立、夹角小有利于叶片两面受光,从而提高冠层光合速率,增加物质生产量;叶片厚则叶片中的叶肉细胞和 RUBP 羧化酶较多,叶片不易衰老,在CO₂ 充足的条件下,光合强度明显增高,提高了抽穗后的光合优势和净同化率;茎秆粗则茎鞘内贮藏的物质多,体内物质运输速率高,易形成大穗,同时也增强了植株的抗倒能力,为超高产提供了保障^[1-7]。从表3 可知,参试的11 个超级杂交稻组合的比叶重、茎基部粗均较CK 有明显优势;从株高、叶片长度、宽度、夹角、叶面积、卷叶指数来看,各组合表现不一致,主要参数指标剑叶长和叶面积均高于CK 的组合有:红莲优6号、88S/747、优明86、88S/0293、准两优527、C两优87、GD1S/RB207、协优9308、国稻1号,这9 个组合的比叶重大小顺序是:88S/747>红莲优6号>国稻1号>88S/0293>GD1S/RB207>优明86>C两优87

> 准两优527 > 协优9308, 除国稻1号因生育期短产量不高外^[8], 这一结果与前面的产量结果基本一致。分析结果表明, 超级杂交稻的株型优势与产量有明显的关系; 11个超级

杂交稻组合中, 红莲优6号、88S/747、优明86、88S/0293表现出明显的株型优势, 增产幅度均在25%以上, 其株型指标对长江中下游生态区模式株型的制订有很大的参考价值。

表3 超级杂交稻组合的株叶形态

| 组合 | 部位 | 长 cm | 宽 cm | 叶面积 cm ² | 卷叶指 数 | 基角 ° | 披垂角 ° | 比叶重 mg/cm ² | 株高 cm | 茎基部粗 cm |
|------------|-----|---------|---------|------------------------|----------|---------|----------|---------------------------|----------|------------|
| 红莲优6号 | 剑叶 | 42.87 | 1.91 | 65.91 | 5.75 | 11.00 | 2.93 | 4.993 | 124.5 | 0.97 |
| | 倒2叶 | 50.46 | 1.63 | 66.33 | 4.90 | 13.40 | 3.20 | 5.011 | | |
| | 倒3叶 | 57.40 | 1.37 | 63.32 | 6.83 | 13.00 | 3.00 | 5.202 | | |
| 88S/747 | 剑叶 | 45.02 | 2.31 | 83.58 | 35.98 | 10.67 | 4.60 | 5.124 | 117.2 | 0.99 |
| | 倒2叶 | 58.43 | 1.99 | 93.18 | 13.43 | 18.60 | 4.00 | 5.354 | | |
| | 倒3叶 | 61.63 | 1.64 | 81.31 | 12.02 | 24.47 | 4.00 | 5.379 | | |
| 优明86 | 剑叶 | 39.03 | 2.25 | 70.53 | 13.07 | 11.47 | 4.53 | 4.648 | 123.0 | 1.05 |
| | 倒2叶 | 52.06 | 1.77 | 74.20 | 3.79 | 14.47 | 7.13 | 4.721 | | |
| | 倒3叶 | 55.12 | 1.56 | 69.17 | 3.79 | 16.63 | 9.70 | 4.970 | | |
| 88S/0293 | 剑叶 | 39.19 | 2.14 | 67.49 | 5.32 | 16.33 | 0.67 | 4.819 | 115.2 | 0.87 |
| | 倒2叶 | 49.29 | 1.85 | 73.44 | 5.40 | 15.20 | 1.73 | 4.512 | | |
| | 倒3叶 | 54.17 | 1.51 | 65.97 | 0.00 | 18.73 | 2.20 | 4.781 | | |
| 两优培九 | 剑叶 | 36.46 | 2.10 | 61.67 | 10.84 | 9.47 | 2.87 | 4.624 | 121.6 | 0.81 |
| | 倒2叶 | 50.42 | 1.76 | 71.36 | 7.93 | 10.67 | 2.80 | 4.691 | | |
| | 倒3叶 | 56.85 | 1.44 | 66.04 | 9.00 | 10.93 | 2.53 | 5.012 | | |
| 准两优527 | 剑叶 | 41.59 | 2.17 | 72.66 | 15.91 | 11.80 | 0.00 | 4.416 | 126.8 | 0.90 |
| | 倒2叶 | 52.03 | 1.75 | 73.34 | 9.53 | 11.33 | 7.53 | 4.365 | | |
| | 倒3叶 | 56.25 | 1.43 | 64.91 | 6.70 | 15.13 | 5.47 | 5.137 | | |
| C两优87 | 剑叶 | 42.71 | 2.10 | 72.12 | 8.88 | 11.00 | 4.80 | 4.475 | 110.1 | 0.87 |
| | 倒2叶 | 52.05 | 1.66 | 69.50 | 4.35 | 17.13 | 5.27 | 4.431 | | |
| | 倒3叶 | 55.29 | 1.44 | 64.10 | 2.74 | 21.07 | 4.73 | 4.813 | | |
| Y优1号 | 剑叶 | 34.61 | 2.01 | 56.18 | 11.22 | 16.73 | 0.00 | 4.590 | 121.6 | 0.89 |
| | 倒2叶 | 45.73 | 1.64 | 60.39 | 11.33 | 11.83 | 2.50 | 5.120 | | |
| | 倒3叶 | 53.55 | 1.27 | 54.98 | 8.82 | 13.93 | 1.33 | 5.499 | | |
| GD1S/RB207 | 剑叶 | 46.50 | 2.15 | 80.15 | 24.78 | 3.80 | 4.53 | 4.812 | 118.3 | 1.03 |
| | 倒2叶 | 60.33 | 1.66 | 80.42 | 3.60 | 7.80 | 3.40 | 5.140 | | |
| | 倒3叶 | 59.37 | 1.37 | 65.62 | 3.40 | 15.13 | 18.13 | 5.165 | | |
| 协优9308 | 剑叶 | 48.84 | 1.97 | 77.42 | 7.44 | 4.20 | 0.20 | 4.363 | 134.5 | 0.91 |
| | 倒2叶 | 62.31 | 1.80 | 89.91 | 6.30 | 5.73 | 2.27 | 4.794 | | |
| | 倒3叶 | 67.53 | 1.56 | 84.71 | 4.92 | 7.80 | 2.20 | 4.903 | | |
| 国稻1号 | 剑叶 | 45.89 | 2.01 | 74.02 | 5.64 | 7.20 | 7.93 | 4.927 | 117.3 | 1.01 |
| | 倒2叶 | 55.31 | 1.47 | 65.59 | 4.06 | 16.27 | 10.27 | 5.640 | | |
| | 倒3叶 | 58.14 | 1.21 | 56.86 | 3.77 | 19.40 | 11.60 | 6.622 | | |
| 汕优63(CK) | 剑叶 | 38.07 | 2.11 | 64.76 | 9.14 | 11.60 | 2.20 | 4.029 | 121.8 | 0.71 |
| | 倒2叶 | 51.50 | 1.80 | 74.72 | 4.05 | 14.33 | 9.33 | 3.892 | | |
| | 倒3叶 | 56.70 | 1.50 | 66.29 | 0.00 | 18.40 | 10.67 | 4.475 | | |

3 小结与讨论

水稻的株型特征主要决定于遗传基础, 而其群体的特征则主要受控于环境因子, 株型指标的确立必须与种植区域的生态条件相结合, 同时还要注意与优质、抗逆相结合。要实现杂交水稻大面积的超高产, 还应有配套的栽培管理技术。该试验参试的11个超级杂交组合都有过较高的产量记录^[9-10], 但该试验产量结果并未达到, 可能与沙壤土中有机质含量不够、有效穗未能达到理想水平有关, 这也再次证明了生态环境和栽培技术的重要性。综合上述分析, 研究结果表明, 超级杂交稻组合的丰产性能较好, 其主要增产因子影响顺序是穴穗重> 单穗粒重> 穗粒数> 二次枝梗数> 有效穗数> 一次枝梗数。因此在育种上应以培育穗大、粒多、着粒密度大的组合为目标, 适当控制穗数以提高穗粒数, 减少

空秕率, 调节穗粒数与结实率、干粒重的平衡。株叶形态以袁隆平院士提出的“长、直、窄、凹、厚”为标准, 结合区域生态条件, 制订理想株型的模式指标, 培育茎秆粗、株高适中、抗逆性好的新组合。从参试的11个超级杂交组合来看, 产量性状较好的组合有: 红莲优6号、88S/747、优明86、88S/0293。长江中下游地区, 可根据当地的生态条件和对米质的要求, 结合高产栽培管理技术大力推广种植。

参考文献

- [1] 邓启云, 袁隆平, 蔡义东, 等. 超级杂交稻模式株型的光合作用[J]. 作物学报, 2006, 32(4): 1287-1293.
- [2] 王伟平, 武伟平. 两系超级杂交稻的研究进展[J]. 杂交水稻, 2006, 21(4): 5-7.
- [3] 袁隆平. 超级杂交稻超高产育种[J]. 杂交水稻, 1997, 12(6): 1-6.
- [4] 青先国, 王学华. 超级杂交水稻研究的背景与进展[J]. 农业现代化研究, 2001, 22(2): 99-102.

表3 匍匐茎数与平均温度的回归分析

| 年份 | 平均温度 | 回归方程 | 相关系数 | 自由度 | 显著水平 |
|------|------|-------------------------|--------|-----|-------|
| 2004 | 地表温度 | $Y = -0.1488X + 10.779$ | -0.601 | 1,5 | 0.207 |
| | 地温 | $Y = -0.1143X + 11.161$ | -0.496 | 1,5 | 0.317 |
| 2005 | 地表温度 | $Y = -0.2075X + 11.169$ | -0.227 | 1,5 | 0.665 |
| | 地温 | $Y = -0.1957X + 11.441$ | -0.429 | 1,5 | 0.396 |

3.2.4 匍匐茎长度的变化。2004 和2005 年, 匍匐茎长度年际间变化规律不明显, 但在对照与处理间的变化趋势基本一致, 从 A 温室至对照随着温室的逐渐增大即温度的逐渐降低, 匍匐茎长度逐渐减小; 在同一处理中年际间差异不显著(图5)。从 A 温室至对照, 随着温度逐渐下降, 匍匐茎长度与平均温度(地表温度和地温)呈显著正相关关系(表4)。

表4 匍匐茎长度与平均温度的回归分析

| 年份 | 平均温度 | 回归方程 | 相关系数 | 自由度 | 显著水平 |
|------|------|------------------------|-------|-----|-------|
| 2004 | 地表温度 | $Y = 0.7750X - 2.0549$ | 0.906 | 1,5 | 0.013 |
| | 地温 | $Y = 0.7759X - 1.3698$ | 0.974 | 1,5 | 0.001 |
| 2005 | 地表温度 | $Y = 0.4762X + 2.9744$ | 0.966 | 1,5 | 0.002 |
| | 地温 | $Y = 0.2295X + 7.0291$ | 0.932 | 1,5 | 0.007 |

4 结论与讨论

(1) 植物个体大小对其繁殖能力的影响一直是植物生态学家关注的问题之一^[13], 而对短穗兔耳草来说, 叶片数的多少是衡量个体大小的重要指标之一。影响个体大小与其繁殖能力的因素是多方面的, 随着植物种类、生境条件等不同往往表现出不同的结果^[14]。匍匐茎草本植物光资源获取结构(叶片)的空间放置是匍匐茎和叶柄等共同实现的^[15]。笔者通过模拟增温实验发现, 在增温的第1 年和第2 年, 叶片数随着温度的升高而增加, 叶片数变化与温度(地表温度和地温)呈正相关关系, 且达到显著水平, 同时, 匍匐茎数目明显减少。说明增温促进了短穗兔耳草的营养生长, 同时抑制了短穗兔耳草的生殖生长, 这可能是种间竞争作用所导致的。

增温后的第2 年叶片数变异明显减少, 但第3 年又开始增加且叶片数变化在处理和对照间趋于稳定, 可能是由于增温改变了短穗兔耳草生存的微环境之后, 它要对其有一个趋同适应的过程。

(2) 一种牧草的高度优势对其在植物种群或群落竞争中起着重要的作用, 如冠层的高低对植物截取阳光、吸收热量、增大叶面积指数、增强光合作用、提高竞争能力等都有重要意义。该研究中, 短穗兔耳草的叶片高度随着温度的升高而增加, 叶片高度变异与温度(地表温度和地温)呈正相关关系。短穗兔耳草所处的典型嵩草草甸中植物密集, 物种丰富

度大, 种间资源竞争激烈, 促使了分株高度的表达^[7]。禾草占据上层空间形成郁闭环境, 因此下层植物短穗兔耳草等为了争取更多的阳光和生存空间, 种间竞争作用增强, 植物高度整体增加。

(3) 研究发现, 匍匐茎的数目呈现随着温度升高而减少的趋势, 且在增温幅度较小的 C、D、E 处理中匍匐茎的数目明显多于增温幅度较的 A、B 处理, 这可能是由于短穗兔耳草在空间较大的温棚中, 有比较充足的生活空间, 且增温幅度有利于其生长。而在 A、B 处理中匍匐茎数目的减少, 可能是因为增温过高抑制了短穗兔耳草的克隆生长能力。

(4) 匍匐茎的长度变化是无性系植物对环境条件的一种高度适应, 在同一个体上, 无性系植物通过调节匍匐茎的长度而将分株“安排”在适宜的生境中。研究结果表明, 随着温度的升高匍匐茎长度逐渐增加。这是由于从对照到 A 温室种群密度和盖度逐渐增大, 短穗兔耳草难以觅到合适于扎根的空间, 从而迫使匍匐茎增加其长度, 这是对种间竞争的一种适应机制。同时, 温度和湿度引起的小气候也会影响匍匐茎长度的生长。

参考文献

- [1] 孙鸿烈, 郑度. 青藏高原形成演化与发展[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998.
- [2] JACKSON R B, O ESALA. CO₂ alters water use, carbon gain, and yield for the dominant species in a natural grassland[J]. *Oecologia*, 1994, 98: 257 - 262.
- [3] VITOUSEK P M. Beyond global warming: ecology and global change[J]. *Ecology*, 1994, 75: 1861 - 1876.
- [4] GRABHERR G, COTTFRIED M, PAULI H. Climate effects on mountain plants[J]. *Nature*, 1994, 369: 448 - 450.
- [5] KORNER C H. Response of alpine vegetation to global climate change. In: International community conference on landscape ecological impact of climate change[J]. Lunteren, The Netherlands: Catena Verlag, 1992, 22: 85 - 96.
- [6] CHAPIN F S, JEFFERIES R L, REYNOLDS J F, et al. Arctic plant physiological ecology in an ecosystem context [M]// CHAPIN F S, JEFFERIES R L, REYNOLDS J F, et al. Arctic ecosystems in a changing climate: an ecophysiological perspective. San Diego: Academic Press, 1992: 441 - 452.
- [7] 周华坤, 周兴民, 赵新全. 模拟增温对矮嵩草草甸影响的初步研究[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 547 - 553.
- [8] 李英年, 赵亮, 赵新全, 等. 5 年模拟增温后矮嵩草草甸群落结构及生产量的变化[J]. *草地学报*, 2004, 12(3): 236 - 239.
- [9] 赵建中, 刘伟, 周华坤, 等. 模拟增温效应对矮嵩草生长特征的影响[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(12): 2533 - 2539.
- [10] 淮虎银, 魏万红, 张镜铨, 等. 不同海拔高度短穗兔耳草克隆生长及克隆繁殖特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(1): 18 - 22.
- [11] 刘伟, 周华坤, 周立. 不同程度退化草地生物量的分布模式[J]. *中国草地*, 2005, 27(2): 9 - 15.
- [12] 周兴民. 中国嵩草草甸[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 2.
- [13] CALLAGHAN T V, S JONASSON. Arctic terrestrial ecosystems and environmental change[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1995, 352: 259 - 276.
- [14] 淮虎银, 魏万红, 张镜铨. 短穗兔耳草基株大小对其克隆生长特征的影响[J]. *生态科学*, 2006, 25(4): 294 - 298.
- [15] 周华坤, 赵亮, 赵新全, 等. 短穗兔耳草的克隆生长特征[J]. *草业科学*, 2006, 23(12): 60 - 64.

(上接第11791 页)

- [5] 曾勇军, 石庆华, 潘晓华, 等. 水稻理想株型的研究进展[J]. *中国稻米*, 2006(1): 10 - 13.
- [6] 马均, 马文波, 明东风, 等. 重穗型水稻株型特征研究[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 679 - 685.
- [7] 康文启, 欧阳由男, 董成琼, 等. 水稻动态株型模式及其指标探讨[J].

中国稻米, 2007(1): 1 - 5.

- [8] 张长海, 郭亚铃, 程管民, 等. 超级杂交稻的生育特征和经济性状分析[J]. *杂交水稻*, 2006, 21(3): 50 - 54.
- [9] 宋春芳. 两系超级杂交稻新组合 P88S/747 在海南三亚高产示范栽培技术[J]. *杂交水稻*, 2006, 21(3): 61 - 62.
- [10] 吴朝晖. 两系超级杂交稻新组合 P88S/0293 在海南大面积示范单产超 12 t/m² 栽培技术[J]. *杂交水稻*, 2003(6): 36 - 37.