

不同大豆品种抗旱性生理指标综合分析

孔照胜¹, 武云帅², 岳爱琴², 李贵全², 彭永康¹

(1. 天津师范大学 化学与生命科学学院, 天津 300074; 2. 山西农业大学 农学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 选用 12 个大豆品种(系), 于大豆开花结荚期, 分别在正常供水与水分胁迫条件下, 研究了与抗旱性有关的 4 类生理指标, 并结合大田试验结果进行了抗旱性综合分析。结果表明, 叶片相对含水量(RWC)、相对电导率、净光合速率(P_n)与超氧化物歧化酶(SOD)活性与大豆抗旱性(DC)密切相关, 此 4 项生理指标的隶属函数加权平均值(D 值)与抗旱系数的相关系数达极显著水平, 表明 D 值可用于大豆品种的抗旱性评价与分级。对大豆抗旱育种的方法进行了讨论。

关键词: 大豆; 抗旱性; 生理指标; 综合分析

中图分类号: S565.101 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2001)03-0040-06

许多学者对大豆抗旱性生理生化机制进行了广泛深入的研究, 并且提出了许多生理生化方面的抗旱鉴定方法及多项间接测定的生理生化指标^[1], 如叶片水势、渗透势、相对含水量及水分饱和亏均与细胞渗透调节能力密切相关^[2]; 质膜相对透性、丙二醛含量则反映了膜脂过氧化受破坏的程度^[3,4]; 而保护酶系统则可清除自由基, 使膜脂免受伤害, 减轻膜脂的氧化程度, 其中 POD、SOD、CAT 酶活性可作为可靠的鉴定指标^[5,3]; 光合强度则能反映一品种在干旱胁迫下的增产能力^[6]; 在逆境下植物常大量积累 ABA, ABA 是一种植物遭受逆境胁迫的信号物质, 并可诱导出一些胁迫蛋白以增强抗旱性^[7,8]。

但是, 现有结果多数是针对某个方面进行的单项机理研究, 如单项生理和生化指标, 经常是在实验室内或盆栽的模拟干旱条件下在幼苗期进行, 常常不能反映大豆生育后期的抗旱特性, 并常与大田试验结果大相径庭。山仑认为, 植物体是一个有机的整体, 加之抗旱性由多基因控制, 不同作物品种适应干旱的方式是多种多样的, 一些作物和品种具有综合的几种机制共同起作用的抗旱特性, 因此不存在统一的评价作物抗旱性的指标, 必须多种指标综合分析^[9]。本研究即采用大田试验与盆栽相结合的方法, 研究了多项生理指标与抗旱性的关系, 并探讨了用室内条件下测定的综合生理指标间接鉴定和评价大豆抗旱性的可行性, 其结果将有助于阐明大豆抗旱性机理, 有助于建立作物抗旱性的生理指标综合评价体系, 并可应用于大豆种质的抗旱鉴定与大豆高产抗旱品种的选育。

1 材料和方法

1.1 试验材料

经过预备试验初筛, 选择了晋大 47、晋大 51、晋大 53、晋大 55、晋豆 11、晋大 62、晋大 69、晋大 68、晋豆 19、晋豆 23、晋豆 24 和兴县小黄豆等 12 个不同生态习性、抗旱特

性的大豆品种参试。

1.2 试验方法

1.2.1 大田试验 大田试验设在山西农大实验农场内。二因素裂区设计, 主区因素为水分, 设正常浇水、水分胁迫 2 处理, 副区因素为品种, 每小区为 5 行区, 行距 0.5 m, 行长 5.33 m, 3 次重复。播前浇足底墒水。正常供水处理, 于始花期和鼓粒前期各浇 1 次水。

1.2.2 盆栽试验 用 35 cm×35 cm 花盆, 每盆装土 9.5 kg, 留苗 5 株, 采取二因素随机区组设计, 每品种设正常浇水与水分胁迫 2 种处理, 3 次重复, 称重法控制水分, 水分胁迫组土壤含水量为 9%~11%, 对照组为 17%~19%。各处理在开花结荚期取叶片进行生理指标的测定, 相对含水量(RWC), 按参考文献〔10〕的方法测定; 相对电导率, 采用电导仪法〔10〕测定; 净光合速率(Pn), 采用 CI-301 便携式 CO₂ GAS ANALYZER(made in America)测定; 过氧化物酶(POD)活性, 采用愈创木酚法〔11〕; 超氧化物歧化酶(SOD)活性, 采用 NBT 光还原法〔12〕测定。所测指标均重复 3 次, 取平均值。

1.2.3 抗旱生理指标综合评价体系〔13〕 (1) 各项生理指标的隶属函数值:

$$u(x)=\begin{cases} 0 & x=\min(x) \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & \min(x)<x<\max(x) \\ 1 & x=\max(x) \end{cases}$$

式中 $a_1=\min(x)$, $a_2=\max(x)$, x 为各指标在水分胁迫下的测定值与对照(正常供水)值的比值。

(2) 隶属函数加权平均值(D 值):

$$D=\sum_{j=1}^n[u(x_j)\left(\frac{|r_j|}{\sum_{j=1}^n|r_j|}\right)] \quad (j=1,2,3,\dots,n)$$

式中, D 为各品种用综合生理指标体系评价所得的抗旱性度量值; r_j 为各品种第 j 个指标与抗旱系数间的相关系数; $u(x_j)$ 为第 j 个指标的隶属函数值, 如果 r_j 为负值则以 $1-u(x_j)$ 代替式中 $u(x_j)$; $|r_j|/\sum_{j=1}^n|r_j|$ 为指标权数, 表示第 j 个指标在所有指标中的重要程度。

品种抗旱性分级标准: $0.8\leq u(x)\leq 1$, 强抗; $0.6\leq u(x)<0.8$, 抗; $0.3\leq u(x)<0.6$, 中抗; $0\leq u(x)<0.3$, 弱抗。

2 结果与分析

2.1 供试大豆品种抗旱性的确定

目前, 作物品种抗旱性评定仍无统一的指标。人们多采用抗旱系数, 但由于其极差较小, 给定性分级带来一定困难, 故本文采用隶属函数法, 将各品种的抗旱系数扩展到 [0, 1] 闭区间上, 并按 4 级划分标准评定, 结果见表 1。按照 4 级标准上述 12 个供试品种分成强抗型(兴县小黄豆、晋大 47、晋大 68)、抗旱型(晋大 69、晋大 62)、中抗型(晋大 53、晋豆 23、晋豆 11、晋豆 24、晋大 55)、弱抗型(晋豆 19、晋大 51) 4 种抗旱类型, 并依此进行比较研究。

2.2 水分胁迫下各项生理指标的变化与大豆品种抗旱性的关系

作物抗旱性是复杂的数量性状, 是众多因素、多种机制共同作用的结果。但大体可分为

表 1 不同大豆品种的抗旱系数及抗旱性评定

品 种	平均产量(kg/hm ²)		抗旱系数	隶属函数值	抗旱性评定
	供 水	胁 迫			
兴县小黄豆	1 767. 0	1 144. 5	0. 648	1	强抗
晋大 47	2 434. 5	1 554. 0	0. 638	0. 968	强抗
晋大 68	2 625. 0	1 551. 0	0. 591	0. 816	强抗
晋大 69	2 902. 5	1 594. 5	0. 549	0. 681	抗
晋大 62	2 535. 0	1 359. 0	0. 536	0. 638	抗
晋大 53	3 028. 5	1 509. 0	0. 498	0. 516	中抗
晋豆 23	2 493. 0	1 164. 0	0. 467	0. 416	中抗
晋豆 11	2 211. 0	1 006. 5	0. 455	0. 377	中抗
晋豆 24	2 859. 0	1 261. 5	0. 441	0. 322	中抗
晋大 55	2 778. 0	1 206. 0	0. 434	0. 310	中抗
晋豆 19	2 464. 5	1 029. 0	0. 417	0. 255	弱抗
晋大 51	2 326. 5	787. 5	0. 338	0	弱抗

两个方面：一是作物在干旱条件下，能够忍耐干旱，保持体内各种生理代谢的正常进行，称之为生理抗旱性；另一种是作物通过对生态条件的适应，避开和躲开干旱的影响，称之为生态抗旱性。而一种作物和品种往往具有综合几种机制共同作用的抗旱特性，因此不存在统一的抗旱指标，必须结合多种指标进行综合分析，在生理指标方面更应如此。因此，我们采用多项生理指标分别在正常供水与干旱胁迫条件下进行测定(表 2)。并且采用综合生理指标评价体系抗旱隶属函数加权平均值(D 值)的方法进行抗旱性综合评定(表 3)。

表 2 不同水分状况下各大豆品种的生理指标

品 种	相对含水量		相对电导率		净光合速率		POD 活性		SOD 活性	
	(%)		(%)		(μ mol • m ⁻² • s ⁻¹)		(OD ₄₇₀ • m ⁻¹ • g ⁻¹)		(U • g ⁻¹)	
	水	旱	水	旱	水	旱	水	旱	水	旱
兴黄	82. 70	75. 13	10. 05	25. 10	12. 21	6. 24	0. 476	0. 367	495. 6	546. 3
晋大 47	87. 10	75. 33	8. 76	22. 22	11. 42	4. 75	0. 483	0. 620	421. 9	442. 8
晋大 53	85. 71	73. 77	9. 06	18. 82	12. 34	3. 12	0. 467	0. 354	497. 8	546. 5
晋大 68	88. 37	73. 99	7. 53	17. 72	12. 65	5. 16	0. 574	0. 624	426. 0	442. 4
晋大 69	85. 62	73. 84	7. 09	17. 65	17. 39	4. 26	0. 551	0. 684	516. 0	537. 3
晋大 62	86. 94	74. 23	6. 49	15. 38	15. 43	2. 05	0. 524	0. 668	397. 5	421. 3
晋豆 23	84. 90	70. 87	9. 50	26. 06	13. 32	2. 34	0. 407	0. 367	446. 3	457. 4
晋豆 24	85. 30	71. 56	6. 78	21. 43	15. 37	2. 31	0. 364	0. 382	485. 3	508. 7
晋大 55	81. 59	66. 53	5. 86	27. 42	14. 58	1. 89	0. 474	0. 611	479. 4	495. 6
晋豆 19	85. 02	68. 42	6. 54	26. 32	14. 56	2. 20	0. 379	0. 471	508. 6	490. 3
晋大 51	84. 44	62. 62	6. 64	24. 00	16. 55	2. 40	0. 674	0. 651	425. 1	432. 2
晋豆 11	83. 45	65. 64	7. 36	30. 25	14. 36	0. 89	0. 489	0. 371	507. 4	511. 3

2. 2. 1 叶片组织相对含水量与品种抗旱性 RWC 常用以表示植物在遭受水分胁迫后的水分状况，表示水分胁迫下植物叶片的持水能力。由表 2 看出，大豆在遭受干旱时，叶片 RWC 与正常供水条件相比明显下降，且品种抗旱性愈差，下降幅度愈大，强抗品种兴县小黄豆仅下降 7. 57 个百分点，而弱抗品种晋大 51 则下降 21. 82 个百分点。表明抗旱大豆品种在干旱条件下可保持叶片正常的水分供应，以保持体内各项生理代谢活动的正常进行。RWC 与抗旱系数间的相关系数 $r=0.8607^{**}$ ($r_{0.01}=0.684$)，表明 RWC 与品种抗旱性呈极显著正相关。因此，RWC 可以作为一种鉴定大豆抗旱性的生理指标。

2.2.2 质膜透性与品种抗旱性 质膜透性增大，组织内含物渗漏，而用电导仪测定外渗液电导率的变化，可反应出质膜受伤害的程度。由表 2 可知，各大豆品种在遭受水分胁迫后相对电导率均迅速增长，但抗旱品种与不抗旱品种相比增加幅度较小，弱抗品种晋大 55 胁迫下相对电导率比正常供水增加 21.56 个百分点，而强抗品种兴县小黄豆仅增加 15.05 个百分点。相关分析表明，相对电导率与抗旱系数间的相关系数 $r = -0.6679^*$ ($r_{0.05} = 0.553$)，呈显著负相关，表明相对电导率可以做为一种抗旱性评价的生理指标。

2.2.3 光合强度与品种抗旱性 干旱时，植物能否保持旺盛的光合作用能力是判断品种抗旱性的一个重要参数，并且直接与其产量相关。由表 2 可知，各大豆品种遭受水分胁迫后，光合强度均大幅度下降，但是抗旱类型品种下降幅度较小且在干旱下仍能保持较高的光合强度，如强抗品种兴县小黄豆、晋大 47 等，而弱抗品种晋豆 11、晋豆 19 等即较低。相关分析表明，光合强度与抗旱系数间相关系数 $r = 0.8396^{**}$ ，呈极显著正相关，表明水分胁迫下大豆品种光合强度可作为一个抗旱生理指标。

2.2.4 保护酶系与品种抗旱性 植物在遭受干旱后可造成植物细胞膜系统的破坏及生理代谢上的紊乱，自由基大量积累是引起这一伤害的重要原因。而超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)是植物体内自由基的清除剂，这 3 种酶的活性与植物的抗旱性有密切的关系。本研究分别在正常供水和水分胁迫条件下测定了各大豆品种的 POD、SOD 酶活性(表 2)。各品种在遭受水分胁迫后，POD、SOD 酶活性均发生了变化，其中 POD 变化较大，而 SOD 变化较小。但从总的趋势看出，抗旱品种 2 种酶活性较高并且胁迫后酶活性显著增高。这可能显示其有较强清除体内自由基的能力；而不抗旱品种则活性增高幅度不大或减弱。有些抗旱品种(兴县小黄豆)在正常与胁迫条件下 POD 酶活性均比弱抗品种晋大 51 低，可能是由于在当时胁迫条件下，其 POD 酶活性仍未达到最大值。相关分析表明，POD 酶活性与抗旱系数间的相关系数 $r = 0.464 < r_{0.05}$ ，而 SOD 酶活性与抗旱系数间的相关系数 $r = 0.5925^* > r_{0.05}$ ，呈显著正相关，说明保护酶系活性与大豆抗旱性有着密切的关系。

表 3 不同大豆品种 $u(x)$ 值,D 值及抗旱性综合评价

品 种	相对含水量 (%)	相对电导率* (%)	净光合速率 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	SOD 活性 ($\text{OD}_{470}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	D 值	抗旱性评定
兴 黄	1	0.838	1	1	0.964	强抗
晋大 47	0.741	0.827	0.788	0.616	0.750	抗
晋大 53	0.717	1	0.425	0.964	0.748	抗
晋大 68	0.572	0.860	0.759	0.536	0.684	抗
晋大 69	0.723	0.842	0.408	0.558	0.628	抗
晋大 62	0.675	0.888	0.158	0.688	0.580	中抗
晋豆 23	0.560	0.746	0.254	0.442	0.477	中抗
晋豆 24	0.560	0.585	0.196	0.609	0.473	中抗
晋大 55	0.440	0	0.151	0.507	0.272	弱抗
晋豆 19	0.380	0.254	0.198	0	0.224	弱抗
晋大 51	0	0.412	0.185	0.384	0.222	弱抗
晋豆 11	0.271	0.219	0	0.319	0.192	弱抗
相关系数	0.8067**	- 0.6679*	0.8396**	0.5929		
指标权数	0.291	0.226	0.284	0.200		

注: * 此组为已转换为 $1-u(x_j)$ 的数值

2.3 综合生理指标评定大豆品种抗旱性

品种抗旱性的评价不仅与所选择的指标有关,还与该指标对抗旱性的影响程度有关。鉴于此,本研究采用反映不同方面的4类指标各一个(同类指标中取与抗旱性相关程度较高者)作综合评价,其中RWC表示水分胁迫下叶片持水能力,相对电导率表示质膜伤害程度,净光合速率表示光合作用强度,SOD酶活性表示体内酶防御能力,计算结果见表3。从表3看出,随着品种抗旱性的增强,D值有相应增加趋势。相关分析证明,D值与抗旱系数呈极显著正相关 $r=0.8773^{**}$ ($P<0.01$)。

从以上看出,D值定量地反映了各品种抗旱性强弱。对D值的最终应用是进行品种抗旱性分级。由于D值本身已是 $[0,1]$ 闭区间上的无量纲常数,故可直接用于抗旱性评价。

3 讨论

植物在遭受干旱时,叶片组织相对含水量可以明确显示其水分状况,相对电导率可准确反映其质膜受伤害的程度,本试验也表明,这两项指标可准确反映大豆品种的抗旱性。从试验结果还可看出,光合强度、保护酶活性变化均可作为抗旱性的生理指标,但同时可以看出,水分胁迫条件下,兴县小黄豆 P_n 为6.24,排第1位,但旱地平均产量均仅为 $1\,144.5\text{ kg/hm}^2$,甚至低于所有品种平均产量($1\,264.5\text{ kg/hm}^2$)。我们认为,光合强度与植株生物产量密切相关,而与子粒产量的相关程度则因品种而异,因为各品种的收获指数或经济系数各不相同,如兴县小黄豆为适应吕梁山区贫瘠干旱山地生长的一种接近半野生类型的农家种。无限蔓生,分枝繁多,但收获指数甚小,故即使生物重很高,子粒产量却依然很低。因此,将光合强度做为抗旱生理指标时,一定要结合收获指数进行筛选。另外,虽然保护酶系活性与大豆抗旱性有着密切的关系,但是具体每一品种其酶活性与抗旱性的关系又较复杂,特别是POD酶活性,变化非常灵敏,许多研究表明,有些抗旱品种在正常与胁迫条件下酶活性变化不大,较稳定^[14];而有些抗旱品种,在遭受干旱后,POD活性变化显著并明显提高^[15];更有一些品种,遭受干旱后,POD酶活性明显下降,但在亚致死情况下,却有酶活性升高的情况出现^[5]。因而,必须做大量深入的研究才能搞清每一品种的酶活性调节机制。

抗旱性是一种受多种因素影响的复杂的数量遗传性状。金善宝指出:一个品种在特定地区的抗旱性表现是由自身的生理抗性和结构特性以及生长发育进程的节奏与农业气候因素相配合的程度决定的^[16]。不同品种对某一具体指标的抗旱性反应均不一定相同。因此,用单一指标难以全面准确地反映抗旱性强弱。但迄今为止,如何确定有关指标,尤其是室内条件下多项生理指标综合、定量评价大豆品种抗旱性仍鲜见报道。本研究即是选择室内条件测定的RWC、相对电导率、净光合速率和SOD酶活性等4项性质不同但与抗旱性均有一定相关性的生理指标,并采用隶属函数加权平均值(D)法,既消除了个别指标带来的片面性,又由于D值是 $[0,1]$ 闭区间上的纯数,使各品种抗旱性差异具有可比性^[12]。试验结果表明,D值与抗旱系数呈极显著正相关 $r=0.8773$ ($P<0.01$),D值与品种抗旱性密切相关,而且可运用于大豆品种抗旱性的分级评价。因此,本方法可以用于快速准确地筛选抗旱种质。而抗性分级标准,则应根据试验和品种间差异并结合生产实际表现具体确定。

参考文献:

- [1] Bohnert H J, Jensen R G. Strategies for engineering water-stress tolerance in plant[J]. Trends in Biotechnology, 1996, 14: 89- 97.
- [2] 邹 琦, 孙广玉. 干旱条件下大豆叶片水分状况与渗透调节[J]. 大豆科学, 1994, 13(4): 312- 319.
- [3] 董 钻, 谢甫绶. 土壤水分胁迫对大豆体内酶活性和膜透性的影响[J]. 大豆科学, 1995, 14(4): 290- 297.
- [4] 宋英淑, 尹田夫, 薛 津, 等. 不同品种大豆的产量及质膜透性对水分胁迫的反应[J]. 大豆科学, 1985, 4(4): 279- 284.
- [5] 赵海泉, 洪法水, 吉军政. 大豆幼苗萎蔫过程中保护酶活性的变化[J]. 中国油料, 1997, 19(4): 40- 45.
- [6] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 739- 746.
- [7] 张福锁. 环境胁迫与植物育种[M]. 北京: 农业出版社, 1993. 120.
- [8] 王 伟. 植物对水分亏缺的某些生化反应[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(5): 388- 393.
- [9] 山 仑, 陈培元. 旱地农业生理生态基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 1- 17, 98- 105.
- [10] 华东师范大学. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1980.
- [11] 张志良. 植物生理学实验指导(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993. 154- 155.
- [12] 朱广廉. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990. 242.
- [13] 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 等. 甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 392- 398.
- [14] 宋英淑, 尹田夫, 薛 津, 等. 过氧化物酶活性与大豆抗旱性的关系[J]. 黑龙江农业科学, 1986, (1): 41- 44.
- [15] 许忠仁, 张贤泽. 大豆生理与生理育种[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1989. 168- 173.
- [16] 景蕊莲. 作物抗旱研究的现状与思考[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 79- 85.

Comprehensive Analysis of Physiological Indexes for Drought Resistance in Different Soybean Varieties

KONG Zhao-sheng¹, WU Yun-shuai², YUE Ai-qin², LI Gui-quan²,
PENG Yong-kang¹

(1. College of Chemistry and Life Sciences, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China;

2. College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801, China)

Abstract: In this paper, twelve soybean varieties was selected. , four physiological indexes related to drought resistance in flowering-podding stage were studied in both normal and drought conditions. The results were as follows: The weighed average of subordinate function(D) values of four physiological indexes- relative water content(RWC), relative conductivity, net photosynthesis velocity (Pn) and the activity of superoxide dismutase(SOD) and drought resistance of Soybean was positively significant($r=0.8773$, $P<0.01$). D value could be used to the evaluation of drought resistance for soybean varieties. At last, methods of soybean breeding for high yield and drought resistance were discussed.

Key words: Soybean; Drought resistance; Physiological index; Comprehensive analysis