



## 耐低氮棉花种质的筛选及评价

张文, 逯涛, 曾庆涛, 王政洋, 杨芮, 赵富强

(新疆生产建设兵团第七师农业科学研究所, 新疆奎屯 833200)

**摘要** 以51份棉花种质材料为研究对象,设置低氮(N0)和正常氮(N345)2个处理,通过变异分析、相关性分析、主成分分析、隶属函数分析、逐步回归分析等方法,系统评价棉花种质材料的耐低氮能力。结果表明,51份棉花种质材料在两个氮水平下存在显著差异,大部分指标如株高、果枝数、单株结铃数等在N0处理下均出现下降,而氮素利用效率和衣分则有所提升。主成分分析提取5个主成分,贡献率分别为31.054%、17.783%、12.875%、11.926%、7.295%,累积贡献率达80.933%。运用模糊隶属函数方法得到各棉花种质耐低氮效率综合评价D值,其中‘鲁棉319’‘鲁棉303’‘新陆中74号’‘新陆中80号’‘新陆早74号’‘新陆早63号’的D值较大(0.560~0.609),展现出较强的抗低氮胁迫能力,是耐低氮型品种;‘新陆早58号’‘新陆中71号’‘中7700’‘皖棉LHM9’‘新陆中77号’‘新陆早62号’的D值相对较小(0.151~0.286),其耐低氮胁迫能力较弱,是氮敏感型品种。通过分析筛选出总干物质质量、马克隆值、单株结铃数、地下部氮素积累量及株高作为鉴定棉花耐低氮能力的关键指标,筛选出的耐低氮种质资源为棉花减氮稳产栽培及耐低氮品种选育提供了重要的理论依据和材料基础。

**关键词** 耐低氮;棉花;筛选;评价;隶属函数法

棉花作为国家重要的经济和战略物资,在现代社会中具有不可替代的地位。它不仅支撑着纺织工业的持续发展,还广泛应用于医疗、化工、军工等多个领域,对国家经济结构的稳定和多元化发展起到了关键作用<sup>[1-2]</sup>。

氮素是植物生长发育不可或缺的矿质元素,适量施用氮肥能够显著促进作物生长并提升产量<sup>[3-4]</sup>。然而,随着现代农业向集约化种植模式的转型,土壤中可直接被作物吸收利用的氮源逐渐匮乏。为满足高产需求,氮肥施用量持续增加,目前已占肥料年消耗总量的60%左右<sup>[5]</sup>。尽管氮肥施用量大幅增加,作物产量并未同步提升,反而增加了农业生产成本,引发了地表水富营养化、土壤酸化板结、温室气体排放等一系列环境问题,严重破坏了农业生态系统的平衡,制约了中国农业的可持续发展<sup>[6-8]</sup>。因此,如何减少氮肥用量、提升其利用效率,从而实现经济效益与环境效益的双赢,已成为当前农业领域亟待解决的关键课题。

而从作物自身出发,筛选和培育氮高效种质资源,无疑是应对这一挑战的重要策略<sup>[9]</sup>。

近年来,针对作物氮高效种质的筛选与评价已出现诸多报道,多见于玉米、小麦、水稻以及大豆等作物领域,学者们从不同层面深入剖析了氮高效种质在这些作物中的特性与应用潜力<sup>[10-13]</sup>。相比之下,棉花氮高效种质的筛选研究起步较晚,相关报道较为有限。因此,本试验以棉花种质资源为研究对象,旨在筛选和评价氮高效棉花种质,挖掘其氮素高效利用的遗传潜力,为培育氮高效棉花新品种提供理论依据和种质资源。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

供试棉花种质材料共51份,其中,西北内陆棉花种质材料37份,黄河流域棉花种质材料7份,长江流域棉花种质材料3份,巴基斯坦棉花种质材料1份,苏联棉花种质材料3份,具体棉花种

收稿日期:2025-04-11 修回日期:2025-07-08

基金项目:“天山英才”青年科技拔尖人才项目—基层科技骨干人才(2022TSYCJC0061);新疆生产建设兵团第七师胡杨河市财政科技计划(2024C03);财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-15-41)。

第一作者:张文,女,助理研究员,研究方向为棉花栽培及育种。E-mail:zhangwenshu@163.com

通信作者:逯涛,男,副研究员,研究方向为棉花栽培及育种。E-mail:380605364@qq.com

曾庆涛,男,研究员,研究方向为棉花栽培及育种。E-mail:zy59720@163.com

质材料名称及其编号见表 1。

### 1.2 试验设计

试验于 2024 年 4—10 月在新疆生产建设兵团第七师农业科学研究所 130 团 8 连试验地进行。设置 2 个施氮处理: 低氮  $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (N0) 和正常氮  $345 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (N345), 处理间用 3 m

宽保护行隔开。采用随机区组设计, 每个棉花种质材料进行 3 行区 (1 膜) 种植, 行长 3 m, 行距 0.76 m, 密度  $162\,000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 重复 3 次。氮肥为尿素, 磷钾肥为磷酸二氢钾 (纯度 99%,  $630 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 在生育期内随水滴施, 其他管理措施同当地大田。

表 1 供试棉花种质材料名称及编号

Table 1 Names and numbers of cotton germplasm materials

编号 No.	种质名称 Germplasm name	编号 No.	种质名称 Germplasm name	编号 No.	种质名称 Germplasm name	编号 No.	种质名称 Germplasm name
1	新陆早 50 号 Xinluzao No. 50	14	新陆早 77 号 Xinluzao No. 77	27	新陆中 78 号 Xinluzhong No. 78	40	鲁棉 319 Lumian 319
2	新陆早 51 号 Xinluzao No. 51	15	新陆早 80 号 Xinluzao No. 80	28	新陆中 80 号 Xinluzhong No. 80	41	鲁棉 303 Lumian 303
3	新陆早 53 号 Xinluzao No. 53	16	新陆早 82 号 Xinluzao No. 82	29	新陆中 81 号 Xinluzhong No. 81	42	中植棉 6 号 Zhongzhimian No. 6
4	新陆早 58 号 Xinluzao No. 58	17	Z1112	30	新陆中 82 号 Xinluzhong No. 82	43	中 7700 Zhong 7700
5	新陆早 60 号 Xinluzao No. 60	18	新陆中 56 号 Xinluzhong No. 56	31	新陆中 83 号 Xinluzhong No. 83	44	中棉所 125 Zhongmiansuo 125
6	新陆早 61 号 Xinluzao No. 61	19	新陆中 60 号 Xinluzhong No. 60	32	新陆中 84 号 Xinluzhong No. 84	45	皖棉 LHM9 Wanmian LHM9
7	新陆早 62 号 Xinluzao No. 62	20	新陆中 66 号 Xinluzhong No. 66	33	新陆中 85 号 Xinluzhong No. 85	46	湘 X16326 Xiang X16326
8	新陆早 63 号 Xinluzao No. 63	21	新陆中 67 号 Xinluzhong No. 67	34	新陆中 87 号 Xinluzhong No. 87	47	湘 K25 Xiang K25
9	新陆早 64 号 Xinluzao No. 64	22	新陆中 71 号 Xinluzhong No. 71	35	新陆中 88 号 Xinluzhong No. 88	48	Карши-2
10	新陆早 65 号 Xinluzao No. 65	23	新陆中 73 号 Xinluzhong No. 73	36	塔河 2 号 Tahe No. 2	49	HGT197
11	新陆早 69 号 Xinluzao No. 69	24	新陆中 74 号 Xinluzhong No. 74	37	酒棉 17 Jiumian No. 17	50	苏联 1306 Sulian 1306
12	新陆早 74 号 Xinluzao No. 74	25	新陆中 75 号 Xinluzhong No. 75	38	晋棉 44 Jinmian 44	51	C-1470
13	新陆早 75 号 Xinluzao No. 75	26	新陆中 77 号 Xinluzhong No. 77	39	农大棉 8 号 Nongdamian No. 8		

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 棉花农艺性状 各试验小区选择长势相当且有代表性的棉株 10 株, 在收获前调查棉花株高 (plant height, PH)、果枝数 (fruit branch number, FBN)、单株结铃数 (boll number, BN)。

1.3.2 植株干物质质量及氮素含量 参考王准等<sup>[14]</sup>的方法, 在棉花盛铃期各小区选取具有代表性棉株 5 株, 按地下部、地上部分开, 装入牛皮纸袋置于烘箱内  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  杀青 30 min 后,  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  烘干至恒质量, 测定地下部干物质质量 (root dry mass, RDW)、地上部干物质质量 (shoot dry mass, SDW)、总干物质质量 (total dry mass, TDW)。将烘干的样品磨碎后, 100 目过筛, 采用浓  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$  法测定氮素含量。计算地上部

氮素积累量 (shoot nitrogen accumulation, SNA)、地下部氮素积累量 (root nitrogen accumulation, RNA)、总氮素积累量 (total nitrogen accumulation, TNA)、氮素利用效率 (nitrogen use efficiency, NUE)。

1.3.3 棉花产量相关性状及纤维品质 各小区在收花时取上部 ( $\geq 7$  果枝)、中部 (4~6 果枝)、下部 (1~3 果枝) 各 10 个铃, 测定单铃质量 (boll mass, BW) 和衣分 (lint percentage, LP)。将轧花后的棉样进行纤维品质检测, 测定纤维长度 (fibre length, FL)、马克隆值 (micronaire, MIC)、断裂比强度 (fiber strength, FS)。

### 1.4 指标计算与数据分析

参考贵会平等<sup>[15]</sup>的方法, 计算各性状的耐低

氮系数( $R_x$ )、氮效率综合评价  $D$  值。

耐低氮系数  $R_x = \text{低氮下性状测定值} / \text{正常氮性状测定值}$  (1)

$$F_j = a_{1j}R_{1j} + a_{2j}R_{2j} + \dots + a_{ij}R_{ij} \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$\mu(F_j) = (F_j - F_{jmin}) / (F_{jmax} - F_{jmin}) \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$F_j$  表示第  $j$  个综合指标值;  $a_{ij}$  表示各单一指标特征值所对应的特征向量,  $R_{ij}$  为各单一指标的耐低氮系数;  $\mu(F_j)$  表示第  $j$  个综合指标的隶属函数值;  $F_{jmax}$  和  $F_{jmin}$  分别表示第  $j$  个综合指标的最大值和最小值。

$$\text{各综合指标权重 } W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

$W_j$  表示第  $j$  个综合指标在所有综合指标中的权重,  $P_j$  为各品种第  $j$  个综合指标的贡献率。

$$\text{氮效率综合评价 } D \text{ 值} = \sum_{j=1}^n [\mu(F_j) \times W_j] \\ j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

采用 Microsoft Office Excel 2019、Origin Pro 2025 软件进行数据分析和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉花各性状指标的变异情况

由表 2 可知,与 N345 处理相比,N0 处理下棉花的株高、果枝数、单株结铃数、地下部干物质质量、地上部干物质质量、总干物质质量、地下部氮素积累量、地上部氮素积累量、总氮素积累量、

单铃质量、纤维长度、马克隆值、断裂比强度分别下降 10.38%、7.95%、9.63%、15.63%、20.61%、20.43%、16.67%、28.47%、28.23%、3.26%、5.65%、3.02%、4.71%; 而氮素利用效率、衣分则分别上升了 10.14%、0.30%, 这表明不同指标对低氮环境的响应存在差异。此外,不同种质在两种氮水平下各性状指标的表现也存在较大变异,例如在 N345 处理下,地下部干物质质量和地下部氮素积累量的变异系数分别为 25.49% 和 19.79%,而在 N0 处理下分别降至 19.87% 和 15.02%,进一步说明不同品种对氮水平的响应具有多样性。鉴于不同种质存在固有的生物学和遗传学差异,为确保耐低氮综合分析的准确性,本研究采用性状相对值,即耐低氮系数来开展后续研究。

### 2.2 棉花各性状指标的相关性分析

由图 1 可知,棉花种质各性状指标的耐低氮系数间存在不同程度的相关性。株高与果枝数、单株结铃数呈极显著正相关关系。果枝数与单株结铃数呈显著正相关关系。地下部干物质质量与地上部干物质质量、总干物质质量、地下部氮素积累量、总氮素积累量、氮素利用效率呈显著或极显著正相关关系。地上部干物质质量与总干物质质量、地下部氮素积累量、地上部氮素积累量、总氮素积累量、氮素利用率、衣分呈显著或极显著正相关关系。总干物质质量与地下部氮素积累量、地上部氮素积累量、总氮素积累量、氮素利用效率、衣分呈显著或极显著正相关关系。地下部氮素积

表 2 不同氮水平下棉花各性状指标的变异情况

Table 2 Variation of cotton traits under different nitrogen levels

性状 Trait	N0			N345			耐低氮系数 $R_x$		
	平均值 Mean	变化范围 Range	变异系数/ CV	平均值 Mean	变化范围 Range	变异系数/ CV	平均值 Mean	变化范围 Range	变异系数/ CV
株高/cm PH	76.48	58.25~94.80	10.93	85.34	69.75~100.75	9.55	0.90	0.63~1.14	12.82
果枝数 FBN	9.50	8.10~11.25	7.75	10.32	9.05~12.30	7.23	0.92	0.70~1.10	9.14
单株结铃数 BN	8.63	6.25~11.75	14.50	9.55	6.60~11.90	12.71	0.92	0.67~1.37	17.70
地下部干物质质量/g RDW	4.05	2.02~5.98	19.87	4.80	2.77~8.55	25.49	0.87	0.49~1.25	21.67
地上部干物质质量/g SDW	95.75	61.37~122.77	15.68	120.61	70.15~161.82	15.72	0.81	0.49~1.19	20.17
总干物质质量/g TDW	99.80	64.62~127.75	15.38	125.42	73.40~167.58	15.65	0.81	0.49~1.18	19.74
地下部氮素积累量/g RNA	0.05	0.04~0.07	15.02	0.06	0.04~0.09	19.79	0.86	0.60~1.21	17.08
地上部氮素积累量/g SNA	2.06	1.58~2.46	11.25	2.88	2.09~3.72	12.66	0.72	0.51~0.93	14.17
总氮素积累量/g TNA	2.11	1.62~2.51	11.05	2.94	2.13~3.80	12.57	0.72	0.52~0.93	13.94
氮素利用效率/% NUE	47.32	38.40~60.87	9.84	42.52	34.39~50.29	7.91	1.12	0.92~1.39	10.60
单铃质量/g BW	5.93	4.92~7.81	10.72	6.13	4.93~7.84	10.35	0.97	0.86~1.05	4.46
衣分/% LP	42.86	36.00~49.47	6.78	42.73	32.04~48.17	7.77	1.01	0.87~1.28	6.33
纤维长度/mm FL	30.08	25.88~34.12	5.10	31.88	26.74~34.20	4.33	0.94	0.84~1.06	4.70
马克隆值 MIC	4.49	3.61~5.30	9.33	4.63	3.61~5.47	9.00	0.97	0.81~1.12	8.95
断裂比强度/(cN·tex <sup>-1</sup> ) FS	34.40	23.70~45.00	11.24	36.10	26.13~43.90	9.45	0.96	0.65~1.32	10.81

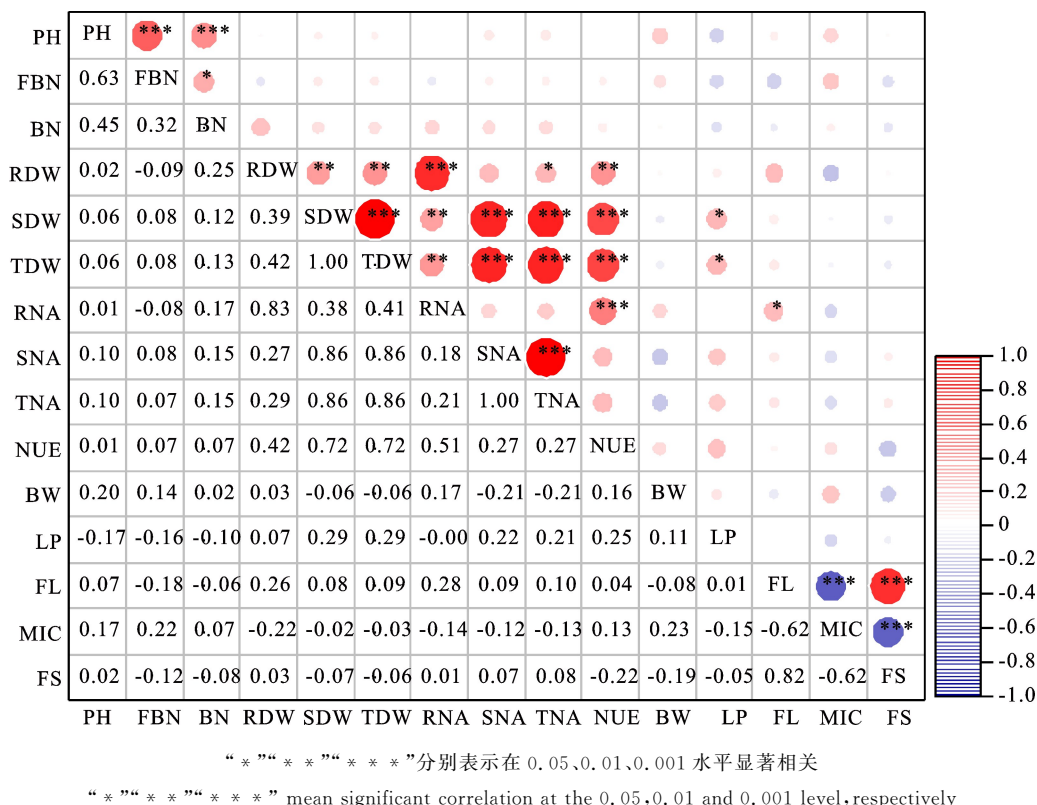


图 1 棉花各性状指标耐低氮系数的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of low-nitrogen tolerance coefficient of cotton traits

累量与氮素利用效率、纤维长度呈显著或极显著正相关关系。地上部氮素积累量与总氮素积累量呈极显著正相关关系。纤维长度与断裂比强度呈极显著正相关关系,与马克隆值呈极显著负相关关系。马克隆值与断裂比强度呈极显著负相关关系。

### 2.3 棉花各性状指标的主成分分析

为消除品种间自身差异,明确关键筛选指标,对各性状指标的耐低氮系数进行主成分分析,提取特征值大于 1 的 5 个主成分,累积贡献率达 80.933%(表 3)。第一主成分贡献率为 31.054%,其

表 3 棉花各性状指标的耐低氮系数的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of low-nitrogen tolerance coefficient of cotton traits

性状 Trait	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
株高 PH	0.048	0.225	0.549	-0.173	0.199
果枝数 FBN	0.030	0.315	0.410	-0.214	0.177
单株结铃数 BN	0.101	0.183	0.418	-0.040	-0.241
地下部干物质质量 RDW	0.275	-0.100	0.176	0.422	-0.276
地上部干物质质量 SDW	0.444	0.077	-0.107	-0.079	0.054
总干物质质量 TDW	0.449	0.069	-0.096	-0.061	0.048
地下部氮素积累量 RNA	0.256	-0.072	0.180	0.511	-0.199
地上部氮素积累量 SNA	0.395	0.003	-0.077	-0.334	-0.050
总氮素积累量 TNA	0.399	-0.004	-0.066	-0.320	-0.062
氮素利用效率 NUE	0.311	0.143	-0.068	0.320	0.149
单铃质量 BW	-0.031	0.200	0.132	0.350	0.573
衣分 LP	0.140	-0.040	-0.296	0.049	0.563
纤维长度 FL	0.098	-0.485	0.278	0.035	0.206
马克隆值 MIC	-0.070	0.496	-0.100	0.046	-0.070
断裂比强度 FS	0.015	-0.498	0.255	-0.168	0.169
特征值 Eigenvalue	4.658	2.667	1.931	1.789	1.094
贡献率/% Contribution rate	31.054	17.783	12.875	11.926	7.295
累积贡献率/% Accumulative contribution rate	31.054	48.837	61.712	73.638	80.933

中总干物质质量、地上部干物质质量、总氮素积累量、地上部氮素积累量的特征向量较大。第二主成分贡献率为 17.783%,其中断裂比强度、马克隆值、纤维长度、果枝数的特征向量较大。第三主成分贡献率为 12.875%,其中株高、单株结铃数、果枝数的特征向量较大。第四主成分贡献率为 11.926%,其中地下部氮素积累量、地下部干物质质量、地上部氮素积累量的特征向量较大。第五主成分贡献率为 7.295%,其中单铃质量、衣分、地上部干物质质量、单株结铃数的特征向量较大。

## 2.4 棉花耐低氮性综合评价

基于棉花各种质综合指标值及贡献率,运用模糊隶属函数方法得出各棉花种质耐低氮综合评价得分  $D$  值。 $D$  值的高低直接反映了其在低氮环境下的耐受能力强弱。 $D$  值越大,意味着该品种的耐低氮性能越强;反之,则表明其耐低氮性能相对较弱。通过对所有供试种质材料的  $D$  值进行排序,得出一个耐低氮性能的排序列表(表 4),其中‘鲁棉 319’‘鲁棉 303’‘新陆中 74 号’‘新陆中 80 号’‘新陆早 74 号’‘新陆早 63 号’的  $D$  值较大,分别为 0.609、0.580、0.579、0.576、0.561、0.560,展现出较强的抗低氮胁迫能力,是耐低氮型品种;‘新陆早 58 号’‘新陆中 71 号’‘中 7700’‘皖棉 LHM9’‘新陆中 77 号’‘新陆早 62 号’的  $D$  值相对较小,分别为 0.151、0.231、0.242、0.254、0.258、0.286,表明其耐低氮胁迫能力较弱,是氮敏感型品种。

## 2.5 棉花耐低氮鉴定指标的筛选

以耐低氮综合评价  $D$  值为因变量,15 个性状的耐低氮系数为自变量进行逐步回归分析,构建棉花耐低氮评价的回归方程: $Y = -0.742 + 0.318TDW + 0.478MIC + 0.165BN + 0.169RNA + 0.143PH$ ,  $R^2 = 0.754$ ,  $P < 0.01$ 。式中, $Y$  为耐低氮综合评价的预测值,TDW、MIC、BN、RNA、PH 分别为总干物质质量、马克隆值、单株结铃数、地下部氮素积累量以及株高,标准化系数分别为 0.496、0.404、0.259、0.240、0.161。根据回归方程可知,总干物质质量、马克隆值、单株结铃数、地下部氮素积累量以及株高可作为鉴定棉花耐低氮能力的主要指标。

## 3 讨论

### 3.1 棉花耐低氮性综合评价

耐低氮性综合评价是低氮作物育种的核心环

节,其目的是通过多维度、多指标的综合分析,全面评估不同棉花种质在低氮环境下的适应能力和生产力表现<sup>[16]</sup>。段松江等<sup>[17]</sup>通过主成分分析法构建氮效率综合评价体系,结合主成分得分、综合评价值及皮棉产量等多维指标,对海岛棉种质资源进行氮效率分级鉴定,最终遴选出氮高效型品种 1 份、氮中效型品种 3 份以及氮低效型品种 3 份。苗蓓<sup>[18]</sup>在苗期对 103 份陆地棉种质材料进行氮效率综合评价,鉴定出‘宛早 686’‘宛 231’等 4 份耐低氮且氮高效的种质材料,‘GP81’‘徐州 1818’等 6 份低氮低效的种质材料。郑顺利等<sup>[19]</sup>采用主成分分析和聚类分析相结合的方法,对棉花苗期氮效率特性进行了系统评价。研究结果显示,‘中棉所 13’‘中棉所 16’‘泗棉 3 号’等 9 个品种表现出显著的氮高效特性,而‘新陆早 20 号’‘辽棉 15’‘鲁棉 12 号’等 9 个品种则被鉴定为氮低效型材料。王准等<sup>[14]</sup>基于聚类热图分析和氮效率综合值评估,鉴定出 2 份氮素吸收利用双高效材料(‘鲁 05R59’‘中棉所 69’)和两份氮素吸收利用双低效材料(‘珂字棉 201’‘新陆中 30 号’)。白灯莎·买买提艾力等<sup>[20]</sup>通过对 22 个棉花品种的生物量、产量构成因素、氮肥利用效率以及氮素偏生产力等指标进行综合评估与聚类分析,可将其划分为氮高效型、氮中效型和氮低效型三类,其中‘新陆早 50 号’和‘新陆早 57 号’被归类为氮高效型品种。本研究通过对比 N0 和 N345 两种氮处理下棉花各性状指标的变化,发现 N0 环境对棉花生长、产量和品质等多方面产生了显著影响。大部分指标如株高、果枝数、单株结铃数等在低氮处理下均出现下降,而氮素利用效率和衣分则有所提升,表明不同指标对低氮胁迫的响应存在差异,也反映了棉花种质在低氮条件下复杂的生理适应机制。这种差异性强调了在耐低氮性评价中采用综合性指标体系的必要性。因此,为了准确评估棉花种质的耐低氮性,本研究采用了主成分分析法和模糊隶属函数法。这种方法能够综合考虑多个性状指标的信息,避免了单一指标评价可能导致的偏差。根据  $D$  值,初步筛选出‘鲁棉 319’‘鲁棉 303’‘新陆中 74 号’‘新陆中 80 号’‘新陆早 74 号’‘新陆早 63 号’为耐低氮型品种;‘新陆早 58 号’‘新陆中 71 号’‘中 7700’‘皖棉 LHM9’‘新陆中 77 号’‘新陆早 62 号’为氮敏感型品种。

表 4 棉花氮效率综合评价值  
Table 4 Comprehensive evaluation value of cotton nitrogen efficiency

编号 No.	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$\mu(F_1)$	$\mu(F_2)$	$\mu(F_3)$	$\mu(F_4)$	$\mu(F_5)$	D 值 D value	排序 Ranking
1	2.676	0.536	1.585	0.420	1.213	0.704	0.583	0.698	0.317	0.300	0.484	12
2	2.185	0.592	1.548	0.438	1.263	0.323	0.679	0.655	0.341	0.422	0.384	28
3	2.083	0.720	1.674	0.295	1.321	0.243	0.899	0.802	0.142	0.565	0.411	23
4	1.791	0.295	1.335	0.283	1.432	0.017	0.170	0.406	0.126	0.838	0.151	51
5	2.513	0.421	1.313	0.407	1.298	0.577	0.386	0.381	0.298	0.510	0.375	33
6	2.367	0.458	1.406	0.685	1.322	0.464	0.449	0.489	0.686	0.566	0.404	24
7	2.113	0.417	1.335	0.277	1.495	0.267	0.379	0.406	0.117	0.993	0.286	46
8	2.601	0.646	1.707	0.666	1.253	0.646	0.772	0.840	0.658	0.397	0.560	6
9	2.535	0.353	1.570	0.689	1.104	0.594	0.269	0.680	0.690	0.033	0.399	25
10	2.172	0.566	1.369	0.313	1.349	0.313	0.635	0.446	0.167	0.634	0.344	39
11	2.463	0.414	1.489	0.432	1.299	0.538	0.374	0.586	0.333	0.511	0.387	27
12	2.987	0.529	1.487	0.320	1.392	0.945	0.572	0.583	0.177	0.739	0.561	5
13	2.197	0.718	1.565	0.202	1.389	0.332	0.895	0.674	0.013	0.732	0.423	22
14	2.004	0.511	1.330	0.384	1.396	0.182	0.540	0.400	0.266	0.750	0.292	45
15	2.734	0.256	1.413	0.551	1.152	0.749	0.104	0.497	0.499	0.150	0.382	29
16	2.274	0.610	1.391	0.330	1.253	0.391	0.711	0.472	0.190	0.397	0.377	30
17	3.058	0.423	1.511	0.642	1.327	1.000	0.389	0.612	0.625	0.580	0.576	4
18	2.878	0.421	1.471	0.360	1.228	0.860	0.386	0.565	0.233	0.336	0.473	13
19	2.156	0.730	1.526	0.568	1.369	0.300	0.916	0.629	0.522	0.683	0.457	15
20	2.589	0.527	1.379	0.757	1.114	0.636	0.568	0.457	0.786	0.057	0.461	14
21	2.719	0.403	1.472	0.394	1.214	0.737	0.355	0.566	0.280	0.303	0.428	21
22	1.769	0.475	1.431	0.421	1.355	0.000	0.478	0.518	0.318	0.649	0.231	50
23	2.078	0.535	1.629	0.476	1.321	0.240	0.581	0.749	0.394	0.564	0.360	36
24	2.581	0.602	1.693	0.911	1.322	0.630	0.696	0.824	1.000	0.568	0.579	3
25	2.597	0.440	1.348	0.738	1.290	0.643	0.419	0.422	0.759	0.488	0.451	18
26	1.974	0.382	1.449	0.467	1.360	0.159	0.319	0.539	0.381	0.661	0.258	47
27	2.616	0.764	1.441	0.487	1.130	0.657	0.974	0.530	0.409	0.096	0.529	8
28	2.135	0.442	1.395	0.464	1.279	0.284	0.422	0.476	0.377	0.463	0.302	44
29	2.266	0.374	1.314	0.821	1.105	0.386	0.306	0.382	0.874	0.035	0.321	40
30	2.350	0.423	1.478	0.520	1.310	0.451	0.389	0.573	0.456	0.537	0.373	34
31	2.504	0.475	1.521	0.572	1.328	0.570	0.479	0.623	0.528	0.582	0.447	19
32	2.350	0.495	1.393	0.384	1.226	0.451	0.513	0.474	0.266	0.332	0.358	37
33	2.362	0.394	1.444	0.397	1.442	0.460	0.340	0.533	0.284	0.862	0.364	35
34	2.254	0.376	1.649	0.718	1.283	0.376	0.308	0.773	0.731	0.473	0.376	31
35	2.919	0.478	1.167	0.612	1.328	0.892	0.484	0.210	0.584	0.582	0.511	10
36	2.476	0.205	1.437	0.218	1.498	0.548	0.016	0.526	0.035	0.999	0.308	41
37	2.391	0.654	1.486	0.404	1.244	0.483	0.786	0.582	0.294	0.376	0.444	20
38	2.541	0.537	1.391	0.586	1.284	0.599	0.586	0.472	0.547	0.474	0.457	16
39	2.659	0.511	1.844	0.395	1.250	0.691	0.540	1.000	0.281	0.392	0.508	11
40	2.838	0.779	1.559	0.234	1.365	0.829	1.001	0.667	0.057	0.673	0.609	1
41	2.616	0.772	1.640	0.607	1.162	0.657	0.988	0.762	0.576	0.174	0.580	2
42	2.696	0.501	1.771	0.639	1.091	0.719	0.524	0.915	0.622	0.000	0.512	9
43	2.255	0.196	1.292	0.550	1.293	0.377	0.000	0.356	0.497	0.496	0.242	49
44	2.568	0.346	1.437	0.620	1.234	0.620	0.257	0.525	0.595	0.352	0.397	26
45	2.128	0.417	1.326	0.193	1.337	0.278	0.379	0.395	0.000	0.605	0.254	48
46	2.109	0.489	1.341	0.361	1.376	0.264	0.503	0.413	0.234	0.701	0.306	42
47	2.210	0.301	1.653	0.634	1.127	0.342	0.179	0.777	0.615	0.088	0.304	43
48	2.296	0.490	1.316	0.571	1.231	0.409	0.504	0.383	0.527	0.345	0.357	38
49	2.347	0.344	1.568	0.815	1.186	0.448	0.253	0.678	0.866	0.233	0.376	32
50	2.540	0.640	1.193	0.400	1.343	0.598	0.762	0.240	0.289	0.619	0.452	17
51	2.752	0.699	0.987	0.532	1.440	0.762	0.863	0.000	0.472	0.858	0.531	7

### 3.2 棉花耐低氮鉴定指标筛选

准确、高效的评价指标是筛选耐低氮品种的重要基础之一。然而,由于环境条件、筛选时期和作物种类的差异,不同研究中采用的筛选指标和评价方法存在显著差异<sup>[21-22]</sup>。韩璐<sup>[23]</sup>的研究表明,在棉花苗期氮效率评价体系中,相对整株干物质质量适宜作为关键鉴定指标,而相对氮素积累量和相对氮素利用效率则可作为补充性评价依据。祝令晓等<sup>[24]</sup>基于主成分分析和性状相关性研究,建立了棉花低氮胁迫耐受性评价体系,最终确定根形态特征(根长、根表面积、根体积)、生物量积累(地上部干物质质量、总干物质质量)以及光合性能参数(实际光化学效率、最大光化学效率)等 7 个核心指标作为综合评价依据。李雪妮等<sup>[25]</sup>研究发现,在棉花氮效率品种筛选中,干物质积累的相对值是最关键的评价指标,而氮含量和氮吸收能力的相对值则可以作为辅助参考指标。通过变异系数、主成分分析和相关性分析,王准等<sup>[14]</sup>最终确定棉花苗期氮效率的评价体系包含总干物质质量、地上部干物质质量、根干物质质量、植株氮积累总量、地上部氮积累量及氮素吸收效率 6 个关键性状。本研究通过逐步回归分析,最终筛选出总干物质质量、马克隆值、单株结铃数、地下部氮素积累量以及株高可作为鉴定棉花耐低氮能力的主要指标。这些指标综合考虑了棉花的生物量、纤维品质、产量构成及氮素吸收能力,能够更准确地评估棉花在低氮环境下的适应性和生产力表现,为耐低氮品种的选育和评价提供了科学依据。

## 4 结论

本研究基于模糊隶属函数法筛选出‘鲁棉 319’‘鲁棉 303’‘新陆中 74 号’‘新陆中 80 号’‘新陆早 74 号’‘新陆早 63 号’为耐低氮型品种;‘新陆早 58 号’‘新陆中 71 号’‘中 7700’‘皖棉 LHM9’‘新陆中 77 号’‘新陆早 62 号’为氮敏感型品种。通过逐步回归分析,最终筛选出总干物质质量、马克隆值、单株结铃数、地下部氮素积累量以及株高可作为鉴定棉花耐低氮能力的主要指标。

### 参考文献 Reference:

[1] 李琼诗. 我国棉花种植产业的生长对经济贸易发展的影响[J]. 商场现代化, 2016(9): 20-21.

- [2] 李平英, 李文, 韩若冰, 等. 山东棉花种植业的战略意义与发展路径研究[J]. 山东农业大学学报, 2020, 22(3): 74-80, 168.
- [3] 杨颖, 仇璇. ‘曙光’油桃生长、产量和品质对施氮水平的响应[J]. 北方园艺, 2017(23): 58-63.
- [4] 杨育峰, 张晓申, 王慧瑜, 等. 氮肥施用量对甘薯生长、含氮量及产量的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(3): 52-55.
- [5] 远月丽, 易媛媛, 战勇, 等. 大豆氮高效种质苗期筛选与鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(3): 539-547.
- [6] LIU Z, YU N N, CAMBERATO J J, *et al.* Crop production kept stable and sustainable with the decrease of nitrogen rate in North China Plain: an economic and environmental assessment over 8 years[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 19335.
- [7] 周晓阳, 徐明岗, 周世伟, 等. 长期施肥下我国南方典型农田土壤的酸化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1615-1621.
- [8] 王春萍, 张世才, 黄启中, 等. 辣椒苗期耐低氮基因型差异分析[J]. 分子植物育种, 2019, 17(14): 4631-4637.
- [9] 汤翠凤, 徐福荣, 余腾琼, 等. ‘溁溁优 1 号’背景导入系耐低氮的初步评价[J]. 分子植物育种, 2010, 8(6): 1166-1171.
- [10] 彭超颖, 霍川, 谢雯, 等. 不同基因型玉米对低氮胁迫的反应与耐低氮品种性状选择[J]. 中国农学通报, 2024, 40(15): 19-28.
- [11] 李俊杰, 杜蒲芳, 石婷瑞, 等. 不同基因型小麦苗期耐低氮性评价及筛选[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(7): 21-32.
- [12] 邵美红, 赵玲玲, 程楚, 等. 水稻黄华占背景选择导入系的耐低氮筛选评价与利用[J]. 作物学报, 2024, 50(8): 1907-1919.
- [13] 孙浩楠, 曹霞, 朱贵爽, 等. 耐低氮大豆资源的苗期筛选与评价[J]. 大豆科学, 2023, 42(5): 545-553.
- [14] 王准, 张恒恒, 董强, 等. 棉花耐低氮和氮敏感种质筛选及验证[J]. 棉花学报, 2020, 32(6): 538-551.
- [15] 贵会平, 董强, 张恒恒, 等. 棉花苗期耐低氮基因型初步筛选[J]. 棉花学报, 2018, 30(4): 326-337.
- [16] 周俊江, 梁颖颖, 周佳敏, 等. 成熟期不同基因型谷子对低氮胁迫的响应[J]. 山东农业科学, 2024, 56(1): 133-138.
- [17] 段松江, 木丽迪尔·拜波拉提, 彭增莹, 等. 海岛棉氮高效品种筛选与氮效率综合评价[J]. 作物杂志, 2024(2): 62-70.
- [18] 苗蓓. 陆地棉种质资源苗期氮效率评价及耐低氮种质筛选[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2019.
- [19] 郑顺利, 赵一超, 陈金湘, 等. 棉花苗期氮效率对其产量性状和品质性状的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(15): 220-226.
- [20] 白灯莎·买买提艾力, 孙良斌, 刘忠山, 等. 不同年代培育的棉花品种产量性状及氮利用效率特征[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(6): 880-889.
- [21] 郝青南, 王程, 陈水莲, 等. 大豆苗期氮高效和氮敏感资源的筛选研究[J]. 大豆科学, 2011, 30(6): 910-915.
- [22] 张兴华, 薛吉全, 刘万锋, 等. 不同玉米品种耐低氮能力鉴

- 定与评价[J]. 西北农业学报, 2010, 19(8): 65-68.
- [23] 韩 璐. 棉花氮高效基因型筛选及相关基因的克隆[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2011.
- [24] 祝令晓, 宋世佳, 李浩然, 等. 基于耐低氮综合指数的棉花苗期耐低氮品种筛选[J]. 作物学报, 2022, 48(7): 1800-1812.
- [25] 李雪妮, 盛建东, 侯 静, 等. 不同棉花品种苗期氮效率筛选的初步研究[J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(3): 44-48.

## Screening and Evaluation of Low-Nitrogen Tolerant Cotton Germplasm

ZHANG Wen, LU Tao, ZENG Qingtao, WANG Zhengyang,  
YANG Rui and ZHAO Fuqiang

(The 7th Division of Agricultural Sciences Institute, Xinjiang Production and Construction Corps, Kuitun Xinjiang 833200, China)

**Abstract** The low-nitrogen tolerance of 51 cotton germplasm accessions was systematically evaluated under two nitrogen levels [low nitrogen (N0) and normal nitrogen (N345)] using analysis of variance (ANOVA), correlation analysis, principal component analysis, fuzzy membership function analysis, and stepwise regression analysis. The results showed significant differences among the 51 cotton germplasm accessions at both nitrogen concentration levels. Under the N0 treatment, most traits, including plant height, fruiting branch number, boll numbers, decreased, whereas nitrogen use efficiency and lint percentage increased. Principal component analysis extracted five principal components, with contribution rates of 31.054%, 17.783%, 12.875%, 11.926%, and 7.295%, respectively, and a cumulative contribution rate of 80.933%. Based on the fuzzy membership function method, the comprehensive evaluation value (*D* value) for low-nitrogen tolerance of each cotton germplasm accession was calculated. Among them, ‘Lumian 319’ ‘Lumian 303’ ‘Xinluzhong 74’ ‘Xinluzhong 80’ ‘Xinluzao 74’ and ‘Xinluzao 63’ exhibited relatively high *D* values (0.560–0.609), indicating strong low-nitrogen stress tolerance and were therefore classified as low-nitrogen tolerant varieties. In contrast, ‘Xinluzao 58’ ‘Xinluzhong 71’ ‘Zhong 7700’ ‘Wanmian LHM9’ ‘Xinluzhong 77’ and ‘Xinluzao 62’ showed weak tolerance to low-nitrogen stress and were classified as low-nitrogen-sensitive varieties. The analysis identified total dry matter mass, micronaire, boll number, root nitrogen accumulation, and plant height as key indicators for evaluating low-nitrogen tolerance in cotton. The low-nitrogen tolerant germplasm accessions identified in this study provide an important theoretical basis and materials basis for reduced-nitrogen cultivation and breeding of low-nitrogen tolerant cotton varieties.

**Key words** Low-nitrogen tolerance; Cotton; Identification; Evaluation; Membership function method

**Received** 2025-04-11

**Returned** 2025-07-08

**Foundation item** “Tianshan Talents” Youth Science and Technology Outstanding Talent Project-Grassroots Science and Technology Backbone Talent (No. 2022TSYCJC0061); Huyanghe Financial Science and Technology Project of the 7th Division of Xinjiang Production and Construction Corps (No. 2024C03); China Modern Agriculture Industry Technology System of MOF and MARA (No. CARS-15-41).

**First author** ZHANG Wen, female, assistant research fellow. Research area: cotton cultivation and breeding. E-mail: zhangwenshu@163.com

**Corresponding authors** LU Tao, male, associate research fellow. Research area: cotton cultivation and breeding. E-mail: 380605364@qq.com

ZENG Qingtao, male, research fellow. Research area: cotton cultivation and breeding. E-mail: zy59720@163.com

(责任编辑: 成 敏 Responsible editor: CHENG Min)