

高宇, 曾瑞儿, 姚苏哲, 等. 花生氮敏感品种及评价指标的筛选 [J]. 华南农业大学学报, 2023, 44(5): 794-802.

GAO Yu, ZENG Ruier, YAO Suzhe, et al. Screening and evaluation indicators for peanut nitrogen-sensitive cultivars[J]. Journal of South China Agricultural University, 2023, 44(5): 794-802.

## 花生氮敏感品种及评价指标的筛选

高宇<sup>✉</sup>, 曾瑞儿, 姚苏哲, 王迎, 黄子琚, 李洁, 高恒宽,  
刘仕元, 张慧, 陈婷婷, 张雷<sup>✉</sup>

(华南农业大学农学院/广东省植物分子育种重点实验室, 广东 广州 510642)

**摘要:**【目的】明确不同花生品种对氮素响应的特点。【方法】本试验以来自全国各地的 81 份花生种质资源为材料, 设置正常施氮与低氮胁迫 2 种大田试验处理, 测定 81 份花生品种苗期的叶绿素含量及收获期的产量、干物质积累及农艺性状等 19 项指标。以测定的 19 项指标的氮响应系数为基础进行主成分分析, 筛选出 6 个新的独立的综合指标, 通过计算其隶属函数值与各综合指标权重得出花生氮敏感综合评价  $D$  值, 通过聚类分析对花生品种进行分类。进一步分析不同类型花生品种的氮响应系数及指标间的相关性。【结果】81 份花生品种分为氮敏感型品种 (13)、中间型品种 (33) 及氮不敏感型品种 (35)。正常施氮处理下, 氮不敏感型花生品种农艺性状的响应差异不显著, 但氮敏感型和中间型花生品种产量及干物质积累的上升幅度显著高于氮不敏感型品种。不同性状的相关性分析表明, 施氮主要通过影响花生干物质积累与分配及株型结构进而影响花生产量的形成。【结论】花生苗期叶绿素含量、单株生产力与收获期干物质积累可作为花生氮敏感品种的筛选指标, 研究结果可为花生氮高效品种的筛选与培育提供依据。

**关键词:** 花生; 氮肥; 品种筛选; 氮敏感性; 评价指标

中图分类号: S502.4; S565.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2023)05-0794-09

## Screening and evaluation indicators for peanut nitrogen-sensitive cultivars

GAO Yu<sup>✉</sup>, ZENG Ruier, YAO Suzhe, WANG Ying, HUANG Zijun, LI Jie, GAO Hengkuan,  
LIU Shiyan, ZHANG Hui, CHEN Tingting, ZHANG Lei<sup>✉</sup>

(College of Agriculture, South China Agricultural University/Guangdong Provincial Key Laboratory of Plant Molecular Breeding, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** 【Objective】To characterize the response of different peanut cultivars to nitrogen. 【Method】A total of 81 peanut cultivars from all over China were used as materials, and two field treatments of normal nitrogen application and low nitrogen application were set up. Nineteen indexes, including chlorophyll content at the seedling stage as well as yield, dry matter accumulation and agronomic traits at the harvest stage, were measured in 81 peanut cultivars. The nitrogen response coefficients of the measured 19 indicators were used as the basis for principal component analysis, six new independent composite indicators were screened out, and the

收稿日期: 2023-02-02 网络首发时间: 2023-07-07 14:49:29

首发网址: <https://kns.cnki.net/kcms2/detail/44.1110.S.20230707.1104.002.html>

作者简介: 高宇, 硕士研究生, 主要从事花生生理生态研究, E-mail: [hnnidx2021@stu.scau.edu.cn](mailto:hnnidx2021@stu.scau.edu.cn); 通信作者: 张雷, 副研究员, 博士, 主要从事花生种质资源利用及表型组学研究, E-mail: [zhanglei@scau.edu.cn](mailto:zhanglei@scau.edu.cn)

基金项目: 国家重点研发计划 (2020YFD1000905); 广东省花生大豆产业技术体系创新团队 (2021KJ136-05); 广东省植物分子育种重点实验室开放课题 (GPKLPMB202203)

*D* values for comprehensive evaluation of peanut nitrogen sensitivity were obtained by calculating their affiliation function values and the weights of each composite indicator. The peanut cultivars were classified by cluster analysis. The correlations between nitrogen response coefficients and indicators of different types of peanut cultivars were further analyzed. 【Result】The 81 peanut cultivars were divided into nitrogen-sensitive (13), intermediate (33) and nitrogen-insensitive (35) cultivars. Under normal nitrogen application treatments, the response of nitrogen-insensitive peanut cultivars did not differ significantly in agronomic traits, but the increase in yield and dry matter accumulation of nitrogen-sensitive and intermediate peanut cultivars were significantly higher than those of nitrogen-insensitive cultivars. Correlation analysis of different traits showed that nitrogen application mainly affected peanut yield formation by influencing peanut dry matter accumulation and distribution and plant structure. 【Conclusion】Chlorophyll content at seedling stage, single plant productivity and dry matter accumulation at harvest stage can be used as screening indicators for peanut nitrogen-sensitive cultivars, and the results of the study can provide a basis for screening and breeding of nitrogen-efficient cultivars of peanut.

**Key words:** Peanut; Nitrogen fertilizer; Variety screening; Nitrogen sensitivity; Evaluation index

氮是植物生长发育必需的大量元素之一, 影响植物生长发育的许多方面, 尤其是对叶绿素合成、光合作用以及干物质的积累与分配有着至关重要且不可替代的作用<sup>[1]</sup>。

中国是全球最大的氮肥生产国和消费国, 在占世界 7% 的耕地上消耗了全球 35% 的氮肥。作为世界上粮食安全压力最大的国家, 中国自 20 世纪 90 年代成功地实现了粮食基本自给, 氮肥在其中发挥了巨大的作用<sup>[2]</sup>。但近期大量研究证明, 氮肥用量已经超过了作物的需要, 在经济作物体系中, 尤其是大田作物, 氮肥施用过量已是普遍现象<sup>[3-5]</sup>。目前, 我国的氮肥生产量和消耗量居世界首位, 不合理施氮和过量施氮问题严重。实际生产中, 作物对氮肥的需求量很难精确, 而且由于“施氮量越大作物的产量越高”错误思想的影响, 农民往往施用远超过作物需求的氮肥。过量的氮肥施用导致其利用率较低<sup>[6-8]</sup>。

作物的氮素营养一般来源于土壤和肥料, 但花生等豆科作物能根瘤固氮, 依赖根瘤、土壤、人工施肥三者提供氮素, 三者之间既互相关联又相互制约<sup>[9-10]</sup>。长期大量氮肥的投入不仅使得花生氮素利用效率降低, 同时也抑制了自身的固氮能力, 直接影响花生产量的提高和粮食安全<sup>[11]</sup>。因此, 在保持花生高产和优质的同时降低氮肥施用量至关重要, 对降低农业生产成本、促进农业可持续发展、保护生态环境具有重要意义。近年来, 越来越多的学者聚焦氮高效品种的筛选和推广, 旨在通过提高花生氮素利用效率来降低氮肥施用量、稳定产量, 进而缓解过量施氮造成的一系列问题<sup>[12]</sup>。

本试验通过研究 81 份花生品种的 19 项与花生氮效率相关的指标, 通过主成分分析与聚类分析, 筛选出花生对氮肥最敏感的指标以及氮敏感型与氮不敏感型花生品种, 为后续花生氮高效品种的筛选与培育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验于 2021 年在广东省广州市增城区华南农业大学宁西教学科研基地进行, 试验地位于 23°24'N、113°64'E, 属于亚热带季风气候, 气温高、雨水光照充足、夏季长、霜降期短, 年平均降水量 1 800 mm, 年平均气温 22.0~28.0 ℃。试验地前茬作物为水稻, 土壤类型为红壤土, 耕作层 0~20 cm, pH 4.85~5.16; 土壤养分状况: 有机质 12.38~19.47 g/kg, 碱解氮 92.26~119.95 mg/kg, 速效磷 54.18~60.45 mg/kg, 速效钾 187.42~227.56 mg/kg。

### 1.2 供试材料

试验材料为 81 份来自世界各地的花生品种。

### 1.3 试验设计

大田试验设低氮和正常施氮 2 个处理, 正常施氮处理施用尿素 225 kg/hm<sup>2</sup>, 低氮处理施用尿素 0 kg/hm<sup>2</sup>。起垄栽培, 垄距 100 cm, 垄面宽 85 cm, 垄上 3 行花生, 行距 33 cm, 株距 15 cm, 每穴 1 粒, 每小区 20 穴, 共 20 株。播种前施 150 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(对应过磷酸钙 1 250 kg/hm<sup>2</sup>) 和 150 kg/hm<sup>2</sup> K<sub>2</sub>O(对应氯化钾 250 kg/hm<sup>2</sup>), 所有肥料均作为基肥一次性施入。3 月初播种, 7 月初收获, 水分管理及病虫害管理等防治措施同当地要求。

1.4 植株性状调查及干质量测定

于花生收获期每小区随机选取 5 株长势一致的花生植株进行考种,按照《花生栽培观察记载技术规范》<sup>[13]</sup>进行考种,指标包括主茎高、主茎节数、主茎粗、侧枝长、分枝数、百果质量、百仁质量、百果仁质量、总果数、单株生产力等产量与产量构成指标。考种完的花生植株分成根、茎、叶和荚果,在 105 ℃ 杀青 20 min,然后在 75 ℃ 烘干至恒质量,最后使用精度为 0.01g 的电子秤测定不同部位干质量并计算总干质量。

1.5 叶绿素含量的测定

于花生苗期每小区随机选取 3 片大小、颜色一致的功能叶进行叶绿素 a、叶绿素 b 以及类胡萝卜素含量的测定。采用二甲基亚砜(DMSO)浸提法,用打孔器取新鲜叶片约 0.2 g(避开主叶脉),放入 7 mL DMSO 原液的试管中(试管最好用磨口玻璃塞密封,以免液体挥发影响测定结果),置于 60 ℃ 恒温水浴条件下避光浸提一定时间(由 15 min 至几小时,根据植物叶片厚度和角质化程度而定),直至用肉眼观察叶片颜色变白为止。叶绿素被 DMSO 浸提干净后,把浸提液倒入刻度试管。叶片用 DMSO 洗涤 2~3 次,洗液一并倒入刻度试管,最后用 DMSO 定容到 10 mL。然后取 200 μL DMSO 叶绿素浸提液于酶标板中,用酶标仪测定  $D_{470\text{ nm}}$ 、 $D_{649\text{ nm}}$  和  $D_{665\text{ nm}}$ 。

1.6 数据处理与分析

氮响应系数(Nitrogen response coefficient, NRC):

$$NRC = \frac{(\text{正常施氮处理指标} - \text{低氮处理指标})}{\text{低氮处理指标}}, \quad (1)$$

不同花生品种各综合指标的隶属函数值:

$$u(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad j = 1, 2, \cdots, n, \quad (2)$$

各综合指标的权重:

$$w_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}, \quad (3)$$

各花生品种综合氮敏感指数大小:

$$D = \sum_{j=1}^n [u(X_j) w_j], \quad (4)$$

式中,  $X_j$  表示第  $j$  个综合指标;  $X_{\min}$  表示第  $j$  个综合指标的最小值;  $X_{\max}$  表示第  $j$  个综合指标的最大值;  $w_j$  表示第  $j$  个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重;  $P_j$  为各花生品种第  $j$  个综合指标的

贡献率;  $D$  为各花生品种在不同氮处理下由综合指标评价所得的氮敏感性综合评价值。

2 结果与分析

2.1 花生各性状氮响应系数主成分分析

以 81 份花生品种 19 项指标氮响应系数为原始数据,利用 SPSS 降维分析中的因子分析,抽取大于 1 的特征值得出各主成分的贡献率、成分矩阵及特征向量矩阵。由表 1 得出,因子分析提取了 6 个主成分,其贡献率分别为第 1 主成分 19.955%,第 2 主成分 19.358%,第 3 主成分 12.361%,第 4 主成分 8.767%,第 5 主成分 7.656%,第 6 主成分 5.596%,累计贡献率 73.694%,说明可以解释原始数据 73.694% 的总变异,可以代替绝大多数指标做一个概括。因此,选择前 6 个主成分,将原来的 19 个单项指标组合为 6 个新的互相独立的综合指标,由此来代表原始 19 个指标携带的大部分信息。

特征向量矩阵能够反映出各个指标在每个主成分当中的载荷,在第 1 主成分当中,单株生产力(0.848)、果干质量(0.846)、单株果数(0.783)和总干质量(0.636)的特征向量较大,起主要作用,解释为花生产量性状因子;在第 2 主成分当中,总叶绿素含量(0.800)、叶绿素 a 含量(0.756)、类胡萝卜素含量(0.738)和叶绿素 b 含量(0.705)的特征向量较大,起主要作用,解释为花生光合色素含量因子;在第 3 主成分当中,百果质量(0.704)、百果仁质量(0.681)和百仁质量(0.635)的特征向量较大,起主要作用,解释为花生产量构成因子;在第 4 主成分当中,茎干质量(0.684)和主茎高(0.646)的特征向量较大,起主要作用,解释为花生茎秆性状因子;在第 5 主成分当中,侧枝长(0.667)和主茎节数(0.573)的特征向量较大,起主要作用,解释为花生株型因子;在第 6 主成分当中,叶干质量(0.624)、主茎粗(0.556)和根干质量(0.384)的特征向量较大,起主要作用,解释为花生干物质转移因子。根据各主成分贡献率大小及各指标在不同主成分中的特征向量,得出总叶绿素含量(29.146%)、叶绿素 a 含量(28.501%)、单株生产力(27.811%)和总干物质积累(27.458%)所占比例最大,表明叶绿素含量、单株生产力和干物质积累最能代表不同类型花生品种对氮素的响应情况。

2.2 氮敏感花生品种的筛选

用上述主成分分析抽取的 6 个综合指标作为评价花生氮敏感性的基础值,利用公式(2)分别计算 81 份花生品种的隶属函数值  $u(X_j)$ 。对于同一个

表 1 各综合指标的贡献率及特征向量<sup>1)</sup>

Table 1 Contribution rate and eigenvector of each composite index

| 指标 Item                              | C1     | C2     | C3     | C4     | C5     | C6     |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 叶绿素a含量 Chlorophyll a content         | -0.435 | 0.756  | -0.295 | -0.082 | -0.069 | 0.040  |
| 叶绿素b含量 Chlorophyll b content         | -0.404 | 0.705  | -0.143 | 0.170  | 0.225  | 0.009  |
| 总叶绿素含量 Total chlorophyll content     | -0.488 | 0.800  | -0.277 | -0.026 | 0.003  | 0.032  |
| 类胡萝卜素含量 Carotenoid content           | -0.462 | 0.738  | -0.307 | -0.031 | -0.004 | -0.028 |
| 百果质量 100-pod weight                  | -0.056 | 0.427  | 0.704  | -0.229 | -0.350 | 0.101  |
| 百仁质量 100-kernel weight               | -0.216 | 0.136  | 0.635  | 0.022  | -0.042 | 0.299  |
| 百果仁质量 100-fruit kernel weight        | -0.035 | 0.471  | 0.681  | -0.258 | -0.316 | 0.083  |
| 单株果数 No. of fruits per plant         | 0.783  | 0.321  | -0.125 | -0.364 | 0.013  | -0.034 |
| 单株生产力 Yield per plant                | 0.848  | 0.398  | 0.023  | -0.224 | 0.080  | -0.046 |
| 果干质量 Fruit dry weight                | 0.846  | 0.416  | 0.023  | -0.206 | 0.092  | -0.046 |
| 根干质量 Root dry weight                 | 0.367  | 0.002  | -0.361 | -0.099 | -0.006 | 0.384  |
| 茎干质量 Stem dry weight                 | 0.449  | 0.161  | 0.004  | 0.684  | -0.256 | -0.170 |
| 叶干质量 Leaf dry weight                 | 0.105  | -0.063 | -0.143 | 0.327  | -0.241 | 0.624  |
| 总干质量 Total dry weight                | 0.636  | 0.431  | 0.046  | 0.460  | -0.189 | 0.054  |
| 主茎高 Main stem height                 | -0.041 | 0.196  | 0.299  | 0.646  | -0.090 | -0.216 |
| 主茎节数 Number of main stem nodes       | -0.096 | 0.225  | 0.454  | 0.063  | 0.573  | 0.057  |
| 侧枝长 Lateral branch length            | 0.132  | 0.093  | 0.405  | 0.160  | 0.667  | -0.142 |
| 分枝数 Number of branches               | 0.317  | 0.498  | -0.275 | 0.124  | 0.182  | 0.027  |
| 主茎粗 Main stem diameter               | 0.079  | -0.078 | 0.040  | 0.159  | 0.432  | 0.556  |
| 特征值 Eigenvalue                       | 3.791  | 3.678  | 2.349  | 1.666  | 1.455  | 1.063  |
| 贡献率/% Contribution rate              | 19.955 | 19.358 | 12.361 | 8.767  | 7.656  | 5.596  |
| 累计贡献率/% Cumulative contribution rate | 19.955 | 39.313 | 51.674 | 60.442 | 68.098 | 73.694 |

1) C1~C6分别为第1~6主成分

1) C1~C6 are the first to sixth principal components, respectively

综合指标如第 1 主成分而言, 编号 47 的花生品种  $u(X_j)$  最大, 为 1.000, 表明此品种在第 1 主成分表现为氮敏感性最强, 而编号 44 的花生品种  $u(X_j)$  最小, 为 0.000, 表明此品种在第 1 主成分表现为氮敏感性最弱。然后根据 6 个综合指标的大小, 利用公式 (3) 求出其权重, 最后利用公式 (4) 计算花生品种综合氮敏感性评价指标 ( $D$ ),  $D$  越大说明该花生品种的氮敏感性越高。以上述所得的综合评价指标 ( $D$ ) 作为原始数据, 采用欧式距离平方方法和 Word 最小方差法进行聚类分析, 将 81 份供试花生品种分为氮敏感型 (I 类)、中间型 (II 类) 和氮不敏感型花生品种 (III 类)(表 2)。

对聚类出的 3 种类型花生进行氮敏感性评价, 通过对比 6 个主成分的平均隶属函数值,  $u(X_1)$  和  $u(X_2)$  的平均值在不同类型花生品种间差异显著 (表 2), 其余 4 个均无显著差异。某一主成分的  $u(X_j)$  值越大说明该类型花生在该主成分的氮敏感性越强, 氮不敏感型 (III 类) 花生品种  $u(X_1)$  和

$u(X_2)$  的平均值最小, 氮敏感性最低; 中间型 (II 类) 花生品种的  $u(X_1)$  和  $u(X_2)$  的均值为 0.165 和 0.369, 氮敏感性介于氮敏感型 (I 类) 花生品种和氮不敏感型 (III 类) 花生品种之间; 氮敏感型 (I 类) 花生品种的  $u(X_1)$  和  $u(X_2)$  的平均值最高, 说明其产量及产量构成因素和叶片光合色素含量对氮肥的敏感性最强。

### 2.3 不同氮敏感型花生品种农艺性状的差异

由图 1A~1E 可得, 施氮对不同氮敏感型花生品种的主茎高无显著影响, 对主茎节数、侧枝长、分枝数与主茎粗表现出了不同程度的影响。相较于氮不敏感型 (III 类) 花生品种来说, 正常施氮可以显著提高氮敏感型 (I 类) 品种的主茎节数、侧枝长及分枝数和中间型 (II 类) 花生品种的侧枝长、分枝数及主茎粗。与低氮处理相比, 正常施氮处理仅显著提高了氮敏感型 (I 类) 花生品种的分枝数 (32.53%), 虽然对其主茎高、主茎节数及侧枝长没有达到显著影响, 但相较于低氮处理也分别增加了 17.86%,



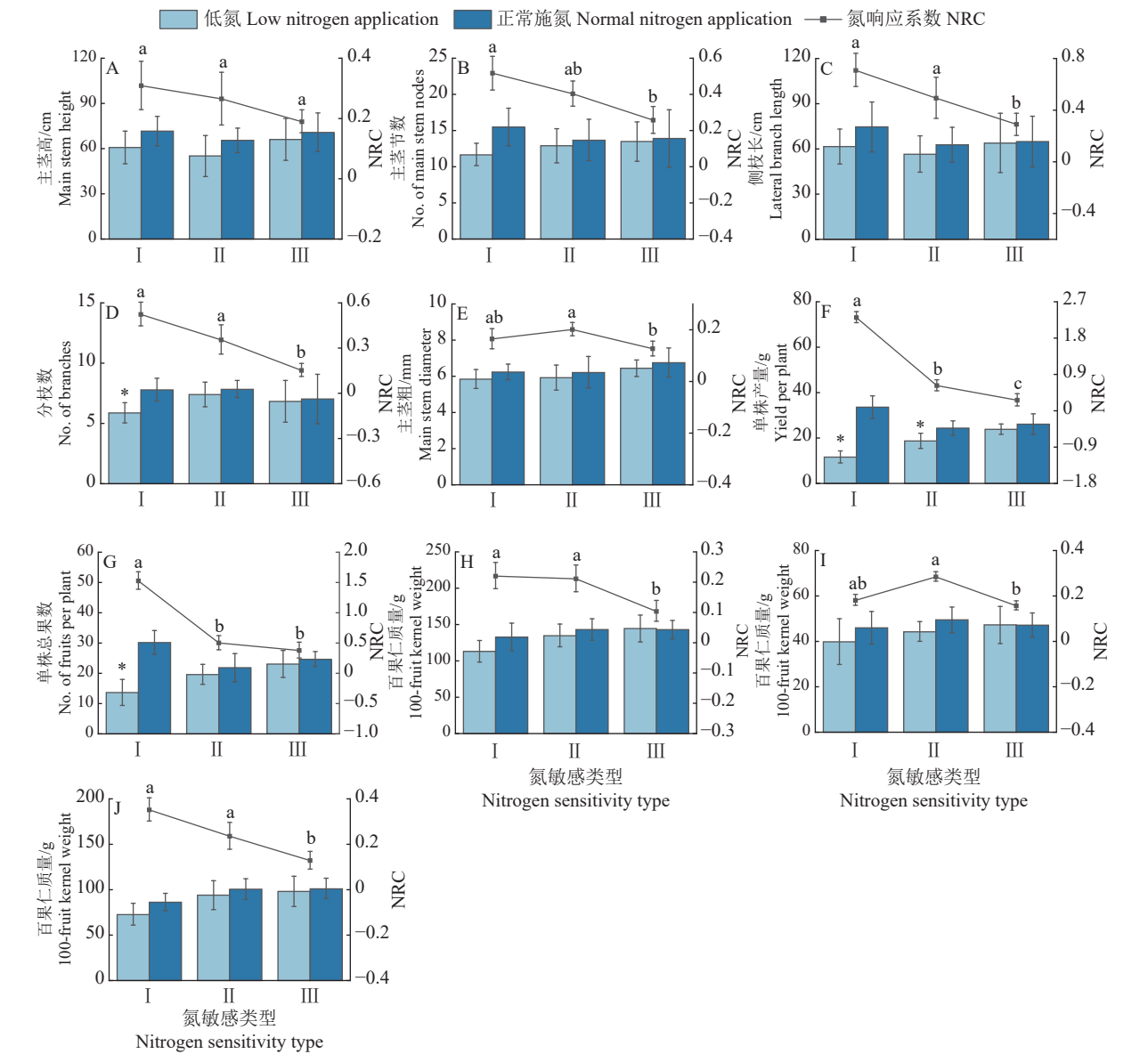
表 2 供试花生品种氮敏感等级及分类<sup>1)</sup>

Table 2 Nitrogen sensitivity level and classification of peanut cultivars under test

| 品种编号<br>Cultivar number  | 氮敏感类型(等级)<br>Nitrogen sensitivity type (Grade) | $u(X_1)$ | $u(X_2)$ |
|--|--|----------|----------|
| HN (1,11,45,47,49,58,92,116,122,123,127,162,166)   | 氮敏感型( I )<br>Nitrogen-sensitive type           | 0.519a   | 0.677a   |
| HN (2,4,7,9,16,43,53,55,61,62,69,80,84,86,88,90,91,93,102,110,<br>115,128,130,133,134,135,147,148,152,153,158,160,164)         | 中间型( II )<br>Intermediate type                 | 0.165b   | 0.369b   |
| HN (12,14,15,18,19,26,27,29,31,32,34,44,46,48,65,72,77,79,85,<br>8798,104,106,113,114,118,121,125,132,136,143,144,151,161,165) | 氮不敏感型(III)<br>Nitrogen-insensitive type        | 0.101c   | 0.216c   |

1) 同列数据后的不同小写字母表示不同氮敏感型花生品种差异显著( $P < 0.05$ , LSD法)

1) Different lowercase letters of the same column indicate significant differences among peanut cultivars of different nitrogen-sensitive types ( $P < 0.05$ , LSD method)



不同小写字母表示组间氮响应系数在 0.05 水平差异显著; “\*” 表示氮肥处理间在 0.05 水平差异显著 (LSD 法)

Different lowercase letters indicate significant differences in nitrogen response coefficient at 0.05 level among groups; “\*” represents significant differences at 0.05 level between nitrogen application treatments (LSD method)

图 1 施氮对不同氮敏感型花生品种农艺性状、产量及构成因素的影响

Fig. 1 Effect of nitrogen application on agronomic traits, yield and composition factors of peanut cultivars with different nitrogen sensitivities

33.04% 和 21.25%; 而正常施氮处理对中间型 (II 类) 和氮不敏感型 (III 类) 花生品种的农艺性状影响较小。由此可以说明氮不敏感型花生品种的农艺性状受氮肥影响较小, 而氮肥对氮敏感型花生品种的株型结构影响较为明显。

2.4 不同氮敏感型花生品种产量及构成因素的差异

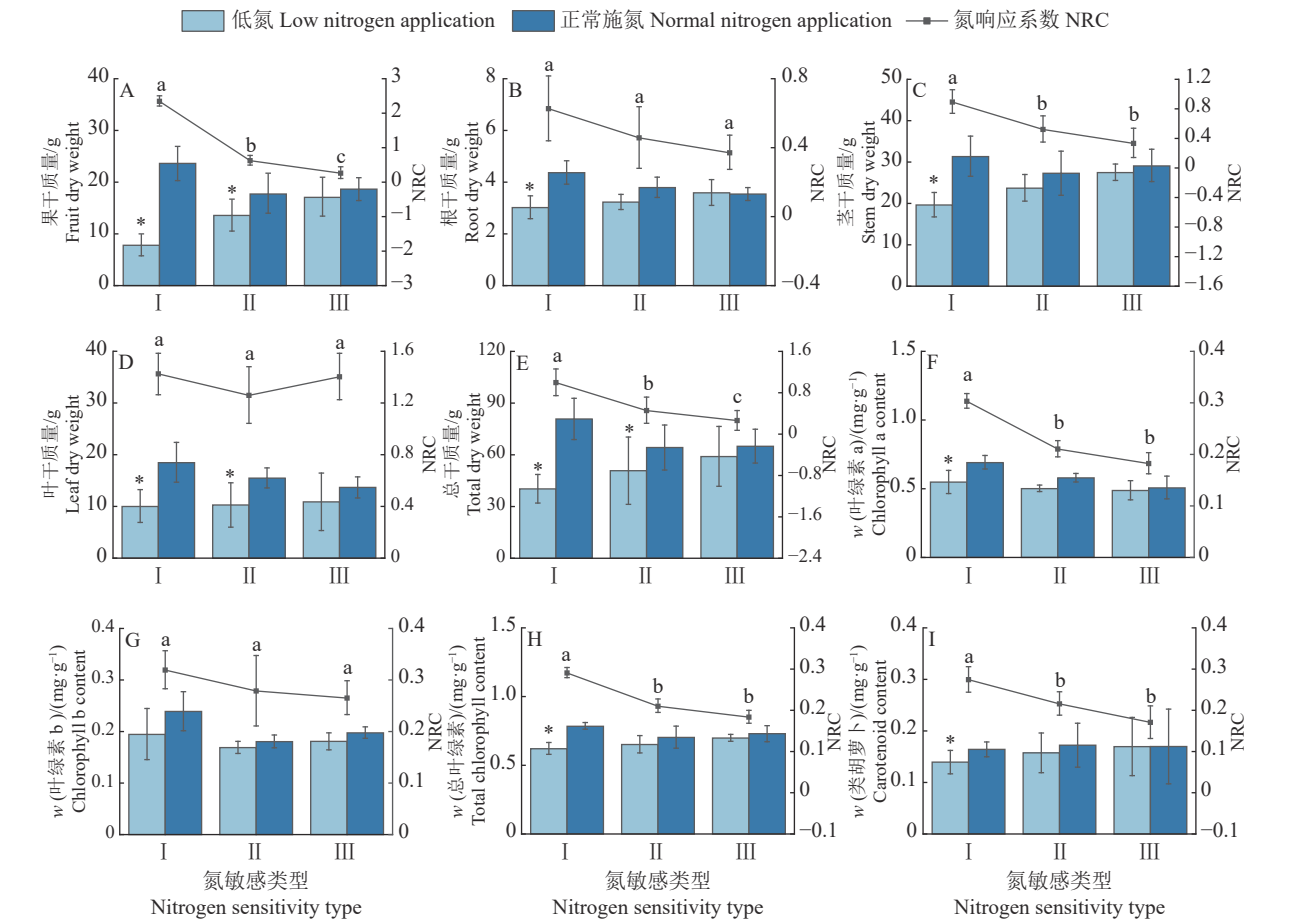
由图 1F~1J 可得, 施氮对不同氮敏感型花生品种的单株产量、总果数、百果质量、百仁质量和百果仁质量表现出了不同程度的影响趋势。相较于氮不敏感型 (III 类) 花生品种来说, 正常施氮可以显著提高氮敏感型 (I 类) 花生品种的单株产量、总果数、百果质量及百果仁质量和中间型 (II 类) 花生品种的单株产、百果质量、百仁质量及百果仁质量。与低氮处理相比, 不同氮敏感型的花生品种在正常施氮处理下的百果质量、百仁质量与百果仁质量均无显著变化, 仅在单株生产力及总果数上表现出了不同程度的变化趋势。虽然百果质量、百仁质量、百果仁质量在氮肥处理间没有达到显著差异, 但氮敏

感型 (I 类) 和中间型 (II 类) 花生品种的产量在正常施氮处理下显著提高, 与低氮处理相比分别提高了 189.50% 和 30.40%, 且氮敏感型 (I 类) 花生品种的总果数在正常施氮处理下也显著提高了 120.80%。

百果质量与单株结果数是决定花生产量的 2 大关键因素。因此在百果质量差异不显著的情况下, 氮不敏感型 (III 类) 花生品种产量受施氮影响较小是因为其单株结果数在低氮处理下就能维持较高水平, 而氮敏感型 (I 类) 花生品种的单株结果数在施氮处理下显著提高, 从而使得产量大幅上升。

2.5 不同氮敏感型花生品种干物质积累状况的差异

由图 2A~2E 可得, 施氮对不同氮敏感型花生品种的根干质量和叶干质量无显著影响, 对果干质量、茎干质量及总干质量表现出了不同程度的影响趋势。相较于氮不敏感型 (III 类) 花生品种来说, 正常施氮可以显著提高氮敏感型 (I 类) 花生品种的果干质量、茎干质量及总干质量和中间型 (II 类) 花



不同小写字母表示组间氮响应系数在 0.05 水平差异显著; “\*” 表示氮肥处理间在 0.05 水平差异显著 (LSD 法)  
Different lowercase letters indicate significant differences in nitrogen response coefficient at 0.05 level among groups; “\*” represents significant differences at 0.05 level between nitrogen application treatments (LSD method)

图 2 施氮对不同氮敏感型花生品种干物质积累和苗期光合色素含量的影响  
Fig. 2 Effect of nitrogen application on dry matter accumulation and seedling photosynthetic pigment contents of peanut cultivars with different nitrogen sensitivities

生品种的果干质量及总干质量。与低氮处理相比,不同氮敏感型的花生品种在正常施氮处理下各部位及总干物质积累均表现出了不同程度的变化趋势。正常施氮显著提高了氮敏感型 (I 类) 花生品种的果干质量 (202.92%)、根干质量 (55.03%)、茎干质量 (59.61%)、叶干质量 (114.80%) 和总干质量 (100.78%); 也显著提高了中间型 (II 类) 花生品种的果干质量 (30.52%)、叶干质量 (50.44%) 和总干质量 (26.53%)。

干物质积累是荚果产量形成的基础,尤其是生育后半期的干物质积累会显著影响产量。相较于氮不敏感型 (III 类) 花生品种,氮敏感型 (I 类) 和中间型 (II 类) 花生品种的叶干质量、总干质量和果干质量受施氮处理影响较大。

2.6 不同氮敏感型花生品种苗期叶片光合色素含量的差异

由图 2F~2J 可得,施氮对不同氮敏感型花生品种的叶绿素 b 含量没有显著影响,对叶绿素 a 含量、总叶绿素含量和类胡萝卜素含量表现出了不同程度的影响趋势。与中间型 (II 类) 和氮不敏感型 (III 类) 花生品种相比,正常施氮可以显著增加氮敏感型 (I 类) 花生品种苗期的叶片叶绿素 a 含量、总叶绿素含量和类胡萝卜素含量。与低氮处理相比,正常施氮处理对中间型 (II 类) 和氮不敏感型 (III 类) 花生品种苗期叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、总叶绿素含量和类胡萝卜素含量无显著影响,但可以显著增加氮敏感型 (I 类) 花生品种苗期的叶片叶绿素 a 含量、总叶绿素含量和类胡萝卜素含量。说明正常施氮处理对氮敏感型 (I 类) 花生品种前期的叶绿素含量的提升作用显著高于中间型 (II 类) 和氮不敏感型 (III 类) 花生品种。

2.7 不同花生品种各性状氮响应系数的相关性分析

对花生品种 19 个性状的氮响应系数进行相关性分析,由表 4 可知大多数性状间的相关性都达到了显著或极显著水平。在正常施氮处理下,产量分别与单株果数、总干质量和分枝数呈极显著相关,与根干质量和茎干质量呈显著相关。干物质尤其是生育后半期的积累是荚果产量形成的基础,并且花生干物质在不同器官中的分配也会显著影响产量。分枝数等株型因子不仅直接影响叶片的有效光合面积,而且还会影响冠层结构内部水分、光照、CO<sub>2</sub>、温度等环境,最终影响群体的光合效率和作物产量。说明施氮主要通过影响花生干物质积累与分配及株型结构进而影响花生荚果产量的形成。

3 讨论与结论

氮素是限制作物生长和产量形成的重要元素,增施氮肥可以提高花生的光合能力、氮素积累、总生物量和荚果产量,但会降低其氮素利用效率,影响花生的新陈代谢。想要实现作物高产和农业生产中的减肥减量,就必须在优化氮肥施用量的同时提高氮肥利用率,保障作物的产量和品质<sup>[14-15]</sup>。而选育氮高效品种,提高作物氮肥利用效率,在保障作物产量和品质的前提下降低氮肥施用量,则是解决过量施氮和肥料利用率低下等问题的有效途径之一<sup>[16-17]</sup>。当下培育和筛选作物不同氮响应基因以及研究氮高效的基因已经成为国内外的研究热点之一,更有人将氮素高效利用的研究称为“第二次绿色革命”。

评价作物氮敏感性的指标有很多,其中多为叶绿素含量、干物质积累及氮素积累等,但对于不同作物的氮敏感性评价指标尚未统一。因为筛选指标受作物类型、土壤环境及筛选时期的影响有较大差异。目前,水稻、马铃薯、油菜、玉米、棉花等作物氮高效品种筛选试验方法与相关指标构建体系已经较为成熟<sup>[18-21]</sup>。花生作为豆科植物还具有根瘤固氮功能,对氮素吸收与利用的机理更为复杂,迄今为止相关研究报道较少。本试验参照前人的筛选体系和研究方法,结合花生自身生长发育特点,对 81 份花生品种的 19 项相关指标的氮响应系数进行主成分分析及聚类分析,将 81 份花生品种分为氮敏感型 (13)、中间型 (33) 及氮不敏感型 (35),并得到苗期叶绿素含量、收获期分枝数和干物质积累为花生氮敏感型品种筛选指标。叶绿素是重要的光合色素,是光合作用的基础,而氮素作为花生生长发育所需的大量元素之一,与花生优质高产紧密相关,作为合成叶绿素的重要元素影响叶片的光合作用进而影响碳水化合物的积累,同时也影响相关碳氮代谢酶的活性。由于花生具有根瘤固氮功能,其叶绿素含量随生育时期的推迟对氮肥的需求减少而越来越小,所以在实际生产中可以通过观察花生苗期的叶色来初步判断其对氮肥的敏感性。氮素利用效率是评价作物氮高效品种的重要指标,但花生作为豆科植物,其氮素来源除土壤和肥料外还有根瘤固氮,不同花生品种最适宜的氮肥浓度差异较大,因此,花生的氮高效品种筛选指标应选取受氮肥水平影响较小的氮素收获指数;在适宜的施氮范围内,干物质积累与氮素积累呈显著正相关<sup>[22]</sup>,所以干物质积累可以在很大程度上反映作物的氮素

表 4 不同花生品种各种性状氮响应系数间的相关性矩阵<sup>1)</sup>

Table 4 Correlation matrix between nitrogen response coefficients of different peanut cultivars for each trait

| 项目<br>Item | $X_1$   | $X_2$   | $X_3$   | $X_4$  | $X_5$   | $X_6$   | $X_7$  | $X_8$   | $X_9$   | $X_{10}$ | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ | $X_{14}$ | $X_{15}$ | $X_{16}$ | $X_{17}$ | $X_{18}$ | $X_{19}$ |
|------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $X_1$      | 1.000   |         |         |        |         |         |        |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_2$      | 0.593** | 1.000   |         |        |         |         |        |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_3$      | 0.963** | 0.772** | 1.000   |        |         |         |        |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_4$      | 0.839** | 0.658** | 0.870** | 1.000  |         |         |        |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_5$      | 0.172   | 0.114   | 0.176   | 0.11   | 1.000   |         |        |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_6$      | 0.021   | 0.059   | 0.041   | 0.046  | 0.440** | 1.000   |        |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_7$      | 0.19    | 0.169   | 0.198   | 0.135  | 0.849** | 0.408** | 1.000  |         |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_8$      | -0.042  | -0.101  | -0.076  | -0.076 | 0.048   | -0.184  | 0.090  | 1.000   |         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_9$      | -0.039  | -0.103  | -0.083  | -0.072 | 0.129   | -0.135  | 0.177  | 0.867** | 1.000   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_{10}$   | -0.036  | -0.069  | -0.071  | -0.063 | 0.132   | -0.132  | 0.181  | 0.865** | 0.998** | 1.000    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_{11}$   | -0.031  | -0.097  | -0.06   | -0.078 | -0.185  | -0.225* | -0.122 | 0.285*  | 0.243*  | 0.244*   | 1.000    |          |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_{12}$   | -0.062  | -0.063  | -0.085  | -0.103 | -0.027  | -0.010  | -0.064 | 0.135   | 0.258*  | 0.270*   | 0.049    | 1.000    |          |          |          |          |          |          |          |
| $X_{13}$   | -0.043  | -0.039  | -0.049  | -0.06  | -0.093  | -0.025  | -0.105 | -0.019  | -0.010  | -0.013   | 0.126    | 0.109    | 1.000    |          |          |          |          |          |          |
| $X_{14}$   | 0.026   | 0.061   | 0.015   | -0.023 | 0.141   | -0.031  | 0.146  | 0.427** | 0.561** | 0.568**  | 0.195    | 0.693**  | 0.231*   | 1.000    |          |          |          |          |          |
| $X_{15}$   | 0.003   | 0.221*  | 0.061   | 0.08   | 0.149   | 0.074   | 0.177  | -0.171  | -0.041  | -0.027   | -0.133   | 0.334**  | 0.014    | 0.268*   | 1.000    |          |          |          |          |
| $X_{16}$   | 0.042   | 0.253*  | 0.104   | 0.059  | 0.19    | 0.211   | 0.207  | -0.057  | 0.031   | 0.041    | -0.118   | -0.141   | -0.058   | 0.078    | 0.132    | 1.000    |          |          |          |
| $X_{17}$   | -0.111  | 0.077   | -0.08   | -0.101 | 0.048   | 0.175   | 0.073  | -0.008  | 0.178   | 0.186    | -0.086   | 0.071    | -0.104   | 0.051    | 0.125    | 0.438**  | 1.000    |          |          |
| $X_{18}$   | 0.167   | 0.353** | 0.226*  | 0.277* | -0.029  | -0.059  | -0.018 | 0.348** | 0.353** | 0.377**  | 0.126    | 0.238*   | -0.025   | 0.406**  | -0.044   | -0.058   | 0.078    | 1.000    |          |
| $X_{19}$   | -0.089  | -0.002  | -0.084  | -0.127 | -0.083  | 0.095   | -0.114 | -0.032  | 0.036   | 0.043    | 0.065    | -0.015   | 0.028    | -0.002   | 0.037    | 0.082    | 0.098    | 0.091    | 1.000    |

1)  $X_1$ : 叶绿素a含量;  $X_2$ : 叶绿素b含量;  $X_3$ : 总叶绿素含量;  $X_4$ : 类胡萝卜素含量;  $X_5$ : 百果质量;  $X_6$ : 百仁质量;  $X_7$ : 百果仁质量;  $X_8$ : 单株果数;  $X_9$ : 单株生产力;  $X_{10}$ : 果干质量;  $X_{11}$ : 根干质量;  $X_{12}$ : 茎干质量;  $X_{13}$ : 叶干质量;  $X_{14}$ : 总干质量;  $X_{15}$ : 主茎高;  $X_{16}$ : 主茎节数;  $X_{17}$ : 侧枝长;  $X_{18}$ : 分枝数;  $X_{19}$ : 主茎粗; “\*” 和 “\*\*” 分别表示在0.05和0.01水平显著相关(Pearson法)

1)  $X_1$ : Chlorophyll a content;  $X_2$ : Chlorophyll b content;  $X_3$ : Total chlorophyll content;  $X_4$ : Carotenoid content;  $X_5$ : 100-fruit weight;  $X_6$ : 100-kernel weight;  $X_7$ : 100-fruit kernel weight;  $X_8$ : No. of fruit per plant;  $X_9$ : Yield per plant;  $X_{10}$ : Fruit dry weight;  $X_{11}$ : Root dry weight;  $X_{12}$ : Stem dry weight;  $X_{13}$ : Leaf dry weight;  $X_{14}$ : Total dry weight;  $X_{15}$ : Main stem height;  $X_{16}$ : Number of main stem nodes;  $X_{17}$ : Lateral branch length;  $X_{18}$ : Number of branches;  $X_{19}$ : Main stem diameter; “\*” and “\*\*” indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels respectively (Pearson method)



积累,且较直接测定氮素积累而言更容易实现。在水稻、小麦、玉米、番茄、棉花和马铃薯等作物中也筛选出了叶绿素含量、干物质积累等作为氮高效品种的筛选指标<sup>[23-28]</sup>。以上指标获取方法较为简单且客观,受人为主观因素影响较小;其次评价指标是通过科学严谨的筛选方法得出,可以为今后作物氮敏感性评价提供理论依据。

参考文献:

[1] 戴良香, 张智猛, 张冠初, 等. 氮肥用量对花生氮素吸收与分配的影响[J]. *核农学报*, 2020, 34(2): 370-375.

[2] 王响玲, 宋柏权. 氮肥利用率的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(5): 93-97.

[3] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(4): 783-795.

[4] 刘兆辉, 薄录吉, 李彦, 等. 氮肥减量施用技术及其对作物产量和生态环境的影响综述[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(4): 1-8.

[5] 周伟, 吕腾飞, 杨志平, 等. 氮肥种类及运筹技术调控土壤氮素损失的研究进展[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(9): 3051-3058.

[6] 雒文鹤, 师祖姣, 王旭敏, 等. 节水减氮对土壤硝态氮分布和冬小麦水氮利用效率的影响[J]. *作物学报*, 2020, 46(6): 924-936.

[7] 申丹丹, 牛铁男, 朱敏, 等. 氮、硫肥配施对稻茬麦氮素利用及籽粒产量和品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2021, 42(2): 1-8.

[8] 任科宇. 氮肥优化减施和有机肥替代下我国粮食作物的氮肥利用率[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.

[9] 郑永美, 冯昊, 吴正锋, 等. 氮肥调控对土壤供氮特征及花生氮素吸收利用的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2016, 38(4): 481-486.

[10] 孙虎, 李尚霞, 王月福, 等. 施氮量对不同花生品种积累氮素来源和产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 153-157.

[11] 张翔, 张新友, 毛家伟, 等. 施氮水平对不同花生品种产量与品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(6): 1417-1423.

[12] 刘颖, 张佳蕾, 李新国, 等. 豆科作物氮素高效利用机制研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2022, 44(3): 476-482.

[13] 山东省农业科学院. 花生栽培观察记载技术规范: NY/T 2408—2013[S]. (2013-09-10)[2022-10-01]. 北京: 中华人民共和国农业农村部.

[14] 武姣娜, 魏晓东, 李霞, 等. 植物氮素利用效率的研究进展[J]. *植物生理学报*, 2018, 54(9): 1401-1408.

[15] ZHANG Z, HU B, CHU C. Towards understanding the hierarchical nitrogen signalling network in plants[J]. *Current Opinion Plant Biology*, 2020, 55: 60-65.

[16] 王春晓, 凌飞, 鹿泽启, 等. 不同氮效率花生品种氮素累积与利用特征[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(11): 1706-1713.

[17] 蒋春姬, 郭佩, 王晓光, 等. 花生氮高效品种资源的苗期筛选研究[J]. *花生学报*, 2020, 49(3): 40-45.

[18] NGUYEN H T T, VAN PHAM C, BERTIN P. The effect of nitrogen concentration on nitrogen use efficiency and related parameters in cultivated rice (*Oryza sativa* L. subsp. indica and japonica and *O. glaberrima* Steud. ) in hydroponics[J]. *Euphytica*, 2014, 198(1): 137-151.

[19] XIE X, LI X, ZEBARTH B J, et al. Rapid screening of potato cultivars tolerant to nitrogen deficiency using a hydroponic system[J]. *American Journal of Potato Research*, 2018, 95(2): 157-163.

[20] 苏继霞, 王开勇, 费聪, 等. 氮肥运筹对滴灌甜菜产量、氮素吸收和氮素平衡的影响[J]. *土壤通报*, 2016, 47(6): 1404-1408.

[21] 武继承, 杨永辉, 康永亮, 等. 氮磷配施对玉米生长和养分利用的影响[J]. *河南农业科学*, 2011, 40(10): 68-71.

[22] 陈杨, 徐孟泽, 王玉红, 等. 有效积温与不同供氮水平夏玉米干物质和氮素积累定量研究[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(15): 2973-2987.

[23] 田艺心, 曹鹏鹏, 高凤菊, 等. 减氮施肥对间作玉米-大豆生长性状及经济效益的影响[J]. *山东农业科学*, 2019, 51(11): 109-113.

[24] KADER M A, JAHANGIR M M R, ISLAM M R, et al. Long-term conservation agriculture increases nitrogen use efficiency by crops, land equivalent ratio and soil carbon stock in a subtropical rice-based cropping system[J]. *Field Crops Research*, 2022, 287: 108636. doi: 10.1016/j.fcr.2022.108636.

[25] BÜCHI L, CHARLES R, SCHNEIDER D, et al. Performance of eleven winter wheat varieties in a long term experiment on mineral nitrogen and organic fertilisation[J]. *Field Crops Research*, 2016, 191: 111-122.

[26] SU W, KAMRAN M, XIE J, et al. Shoot and root traits of summer maize hybrid varieties with higher grain yields and higher nitrogen use efficiency at low nitrogen application rates[J]. *PeerJ*, 2019, 7: e7294. doi: 10.7717/peerj.7294.

[27] 程红, 郑顺林, 马海艳, 等. 马铃薯氮高效基因型品种筛选及指标评价[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(10): 2292-2298.

[28] 王淮, 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.

【责任编辑 霍 欢】