植物营养与肥料学报 2014,20(6):1349-1357
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0604

小麦苗期氮素吸收利用效率差异及聚类分析

杜保见,郜红建*,常 江,章力干
(安徽农业大学资源与环境学院,安徽合肥 230036)

摘要:【目的】氮肥过量施用,不仅造成氮素大量流失,还增加了农业生产成本,对生态环境带来了巨大的威胁。筛选和培育氮高效小麦品种是提高氮肥利用率、降低环境污染风险的有效途径。本文通过对44个小麦品种苗期性状的考察,初步筛选出具有氮高效潜力的小麦品种。**【方法】**利用循环营养液培养方法,研究了安徽省44个小麦品种(系)在正常氮(5 mmol/L)和高氮(45 mmol/L)条件下苗期氮素吸收利用效率的差异。采用隶属函数法将评价指标数据进行标准化,区间为[0,1];而后采用客观赋权法将标准化后的数据整合成一个无量纲的综合值,最后基于综合值运用最短距离法、欧氏距离平方聚类分析方法,将44个小麦品种划分成不同的氮效率类型。**【结果】**在两种供氮水平下,不同小麦品种的茎叶干重、根干重、叶面积、茎叶氮累积量和根氮累积量存在显著性差异,其变异系数分别在27.9%~33.7%和21.5%~32.8%之间,可作为小麦苗期氮效率的评价指标。小麦苗期氮效率综合值在正常氮和高氮水平下分别在0.053~0.920和0.001~0.853之间,其中"鉴76"在正常氮和高氮条件下的氮效率综合值均大于80%。通过隶属函数氮效率综合值及其聚类分析,将44个供试小麦品种分为氮高效型、氮中效型和氮低效型三类;其中"扬麦16"和"鉴76"在正常氮和高氮条件下均表现为高效型,"皖麦68"、"$F_6$0501-4"、"鉴62"和"安农1026"只在高氮条件下表现为高效型。氮高效型、氮中效型、氮低效型小麦品种在正常供氮和高氮条件下分别占供试品种总数的4.54%、54.55%、40.91%和13.63%、38.64、47.73%。**【结论】**在正常供氮和高氮条件下,44个供试小麦品种的茎叶氮累积量、茎叶干重、根部氮累积量、根部干重和叶面积存在显著性差异,可以作为小麦苗期氮效率评价指标;初步确定"扬麦16"和"鉴76"为正常供氮和高氮条件下的氮高效型品种,"皖麦68"、"$F_6$0501-4"、"鉴62"和"安农1026"为高氮条件下的氮高效型品种。

关键词:小麦;苗期;氮吸收效率;聚类分析
中图分类号:S512.1.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2014)06-1349-09

Screening and cluster analysis of nitrogen use efficiency of different wheat cultivars at the seedling stage

DU Bao-jian, GAO Hong-jian*, CHANG Jiang, ZHANG Li-gan
(*School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China*)

Abstract:【Objectives】Excessive application of nitrogen fertilizer lead to nitrogen loss and cost increase of agricultural production. Screening and breeding crop cultivars with high nitrogen use efficiency is effective way of increasing nitrogen fertilizer use efficiency and reducing environmental risks. In this paper, 44 wheat cultivars at the seedling stage for their potential of high nitrogen use efficiency were screened.**【Methods】**Hydroponic experiments were conducted with normal (5 mmol/L) and high (45 mmol/L) nitrogen levels. Evaluation indices were standardized by the method of Subordinate function into interval [0,1], and the standardized data were calculated into a dimensionless integrated values by objective weighting method. Based on the comprehensive value using the shortest distance method and squared euclidean distance method of clustering analysis, 44 wheat cultivars were divided into different categories using their nitrogen use efficiency.**【Results】**There are significant differences

收稿日期:2013-10-28 **接受日期:**2014-01-24
基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD20B05, 2012BAD04B09, 2013BAD07B08)资助。
作者简介:杜保见(1988—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事植物营养高效利用方面的研究。E-mail: dubaojian0720@126.com
* 通信作者 Tel: 0551-65786447, E-mail: gaohongjian2@163.com

in shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), leaf area (LA), shoot nitrogen accumulation (SNA) and root nitrogen accumulation (RNA) of the wheat cultivars between the two N supply levels. The coefficients of variation (CV) of SDW, RDW, LA, SNA and RNA are between 27.9% -33.7% and 21.5% -33.7% under the normal and high nitrogen levels, respectively. The integrated nitrogen use efficiency values (INUEV) under the normal and high nitrogen levels at the seedling stage are 0.053-0.920 and 0.001-0.853, respectively. The INUEV of Jian76 wheat cultivar is greater than 80% under the both normal and high nitrogen levels. Based on the INUEV and the clustering analysis (CA) of INUEV, the 44 wheat cultivars are divided into three categories which are high, middle and low nitrogen use efficiencies (NUE). The Yangmai16 and Jian76 belong to high NUE category under both normal and high nitrogen levels, and the Wanmai68, $F_6$0501-4, Jian62 and Annong1026 belong to high NUE wheat cultivars only under the high nitrogen level. The wheat cultivars with high, middle and low nitrogen use efficiencies in the normal nitrogen condition account for 4.54%, 54.55% and 40.91%, and 13.63%, 38.64 and 47.73% high nitrogen condition. 【**Conclusions**】The shoot nitrogen accumulation, shoot dry weight, root nitrogen accumulation, root dry weight and leaf area can be used as indices to evaluate the potentials of wheat cultivars at the seedling stage; The Yangmai16 and Jian76 are preliminary confirmed as the wheat cultivars with high nitrogen use efficiency in the normal and high nitrogen conditions, Wanmai68, $F_6$0501-4, Jian62 and Annong1026 as cultivars with high nitrogen use efficiency in the high nitrogen conditions.

Key words: wheat; seedling stage; nitrogen uptake efficiency; cluster analysis

小麦是我国三大粮食作物之一,其产量的高低对我国粮食安全有重要影响。氮素是限制小麦生长和品质的重要因子[1]。受"施肥越多,产量越高"观念的影响,小麦氮肥过量施用的现象较普遍。我国小麦氮肥的平均投入量为 187 kg/hm^2,平均利用率仅为28.2%[2-3],氮肥损失增加了农业成本和生态环境风险。品种改良、氮肥配方施肥和农艺技术的应用是提高小麦氮肥利用效率的有效途径,而选育氮高效作物品种是关键[4-5]。

不同基因型小麦对氮素的吸收、积累和利用存在显著差异性[6-7],主要表现在氮素累积量和氮素转移率[8];不同水分条件下小麦的产量、氮素生产效率、氮素利用效率和收获指数[9],以及不同生育期内氮素干物质生产率和干物质积累[10]。筛选较高氮肥水平下,仍有产量增长潜力的"高氮高效"型作物品种,是提高小麦养分利用效率,减少氮肥损失的重要途径[11]。

有关小麦耐低氮基因型的特性方面已有一些研究[5,12],而对于高氮水平下小麦的基因和表型特征研究较少。小麦的高氮优良特性,对小麦在高氮水平下的产量和氮利用率有重要影响。研究小麦在高氮和超高氮水平下的品种特性对于选育高产高效小麦品种具有重要意义。

本试验采用循环营养液培养法,研究了安徽省44个小麦品种(系)苗期氮素吸收与积累的差异性,分析了在正常(5 mmol/L)和高氮(45 mmol/L)供应水平下,不同小麦品种苗期茎叶干重、氮含量及氮素累积量等参数指标,计算氮效率综合值并以此进行聚类分析,划分不同氮营养效率小麦品种,为研究小麦氮素高效吸收利用机理提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

安徽省地区44个小麦品种(表1)由安徽农业大学种子科学与工程实验室提供。

采用循环营养液培养法培养小麦。采用Hoagland-Arnon营养液配方配制正常(5 mmol/L)和高氮(45 mmol/L)营养液。具体配方调整如下:正常氮和高氮相同的营养液组分(微量元素)为 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 493 mg/L, NaFe-EDTA 40 mg/L, H_3BO_3 2.86 mg/L, $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 2.13 mg/L, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.22 mg/L, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.08 mg/L, $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 0.02 mg/L;正常氮的大量元素组分为 KNO_3 505 mg/L, KH_2PO_4 138 mg/L, $CaCl_2$ 444 mg/L;高氮的大量元素组分组分为 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 945 mg/L, KNO_3 607 mg/L, $NH_4H_2PO_4$ 115 mg/L, NH_4NO_3 1200 mg/L。

表 1　小麦品种(系)及编号

Table 1　Wheat cultivars and their marked numbers

品种编号 Cultivar number	品种(系)名称 Cultivar	品种编号 Cultivar number	品种(系)名称 Cultivar
1	连麦 2 号 Lianmai2	23	皖麦 072122 Wanmai072122
2	阜麦 8 号 Fumai8	24	皖农 08238 Wannong08238
3	泛麦 5 号 Fanmai5	25	轮选 998 Lunxuan998
4	皖垦 102 Wanken102	26	烟农 19 Yannong19
5	淮麦 22 Huaimai22	27	周麦 22 Zhoumai22
6	济麦 22 Jimai22	28	皖麦 52 Wanmai52
7	皖麦 68 Wanmai68	29	安徽 0817 Anhui0817
8	皖垦麦 2 号 Wankenmai2	30	鉴 6 Jian6
9	皖垦麦 1 号 Wankenmai1	31	$F_4$06421
10	淮麦 29 Huaimai29	32	$F_6$0501-4
11	庆丰 188 Qingfeng188	33	豫麦 70-36 Yumai70-36
12	神麦 1 号 Shenmai1	34	烟农 5158 Yannong5158
13	罗麦 10 号 Luomai10	35	周麦 16 Zhoumai16
14	宿麦 533 Sumai533	36	阜麦 936 Fumai936
15	郑豫麦 9987 Zhengyumai9987	37	鉴 62 Jian62
16	良星 66 Liangxing66	38	安农 1019 Annong1019
17	洛麦 21 Luomai21	39	安农 1004 Annong1004
18	许科 1 号 Xuke1	40	扬麦 16 Yangmai16
19	淮麦 25 Huaimai25	41	鉴 76 Jian76
20	洛麦 23 Luomai23	42	安农 1025 Annong1025
21	山农 20 Shannong20	43	安农 1026 Annong1026
22	安农 1008 Annong1008	44	鉴 7 Jian7

挑选大小一致、籽粒饱满的小麦种子,经 3% H_2O_2 消毒 30 min,纯水冲洗 3 次后,置于饱和 $CaSO_4$ 溶液中浸种 6 h,于 25 ℃培养箱黑暗中催芽 24 h。种子露白后移至洗净的湿润沙床上培养,长至 2 叶 1 心时,挑选长势一致的幼苗,除尽胚乳后,移入盛有标准浓度的 Hoagland-Arnon 营养液的培养容器(47cm×35 cm×11 cm)中培养 5 d,再分别以常氮和高氮营养液处理,用 0.1 mol/L 的 HCl 或 NaOH 溶液调节营养液 pH 至 6.5[13],电动气泵通气 10 h/d,至六叶期测定。

1.2　样品处理及测定方法

培养到六叶期时,将小麦植株分为茎叶和根部两部分分别收获,于 110℃下杀青 30 min 后,置 70℃下烘干至恒重,称量茎叶干重(Shoot dry weight, SDW)与根部干重(Root dry weight, RDW);计算根冠比(Ratio of root and shoot, RSR)。小麦植株茎叶氮含量(Shoot nitrogen content, SNC)和根部氮含量(Root nitrogen content, RNC)经浓硫酸-过氧化氢消煮,凯氏定氮法测定。茎叶氮累积量(Shoot nitrogen accumulation, SNA)和根部氮累积量(Root nitrogen accumulation, RNA)分别为茎叶和根干重与其含氮量之积;氮素干物质生产率(Nitrogen dry matter productivity ratio, NDMPR)为植株干物质重与整株氮累积量比值;株高(Plant height, PH)为小麦植株根基部到其最上端的高度。叶片面积(Leaf area, LA) = 小麦叶片长×叶片宽度×修正系数(0.75),测量小麦

植株顶端起第一片完全展开叶。

1.3 氮效率综合值计算方法

采用隶属函数法(Subordinate Function Method, SFM)综合分析氮效率综合值[14-15]。用隶属函数法将小麦氮高效评价指标扩展为闭区间[0,1]上进行综合评价。公式为:

$$Y_{ij} = (X_{ij} - X_{j\,min})/(X_{j\,max} - X_{j\,min})$$

式中:Y_{ij}表示第i品种第j评价指标的氮高效隶属函数值;X_{ij}表示第i品种第j评价指标的测定值;$X_{j\,min}$表示所有品种第j评价指标的最小值;$X_{j\,max}$表示所有品种第j评价指标最大值;i表示某个品种;j表示某项评价指标。

权重采用客观赋权法计算,公式为:

$$E_j = C_j / \sum C_j$$

式中:E_j表示j评价指标的权重;C_j表示第j评价指标的变异系数[16]。

氮效率综合值 $P = [\sum(Y_{ij} \times E_j)]$。

1.4 数据分析方法

数据采用Excel 2003和SPSS 19.0软件进行统计分析,采用F检验分析显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$),根据隶属函数法计算出的氮效率综合值采用最短距离法(Nearest neighbor)、欧氏距离平方(Squared Euclidean distance)聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮水平下小麦苗期性状特征

小麦性状是品种间差异的重要特征,变异系数越大,小麦品种间的差异性越大。正常氮和高氮供应水平下,小麦不同性状指标均表现出一定的变异性,变异系数变幅相差较大(表2),经F值检测分析,各指标均达到极显著差异水平($P<0.01$)。正常氮条件下,各性状变异系数范围为7.7%~33.7%,后者为前者的4.38倍,变异系数呈叶面积>茎叶氮累积量>根部氮累积量>根部干重>茎叶干重>根冠比>株高>氮素干物质生产率>茎叶氮含量=根氮含量的趋势,其中茎叶氮含量与根部氮含量变异系数最小,均为7.7%;叶面积变异系数最大,为33.7%。高氮条件下,各性状变异系数呈茎叶氮累积量>茎叶干重>叶面积>根部氮累积量>根部干重>根冠比>株高>氮素干物质生产率>茎叶氮含量=根部氮含量的趋势,其变异范围为7.2%~32.8%,后者是前者的4.56倍;其中茎叶氮含量和根部氮含量变异系数最小,均为7.2%;茎叶氮累积量的变异系数最大为32.8%。在常氮和高氮条件下,茎叶氮累积量、茎叶干重、根部氮累积量、根部干重和叶面积的变异系数均大于20%,说

表2 小麦苗期不同性状在正常氮和高氮条件下的变化幅度

Table 2 Varieation range wheat cultivars at the seedling stage under normal and high nitrogen levels

参数 Parameter	正常氮 Normal N			高氮 High N		
	变幅 Range	均值 Average	变异系数 CV(%)	变幅 Range	均值 Average	变异系数 CV(%)
茎叶干重 SDW(g)	0.045~0.197	0.112**	27.9	0.059~0.201	0.127**	28.7
根部干重 RDW(g)	0.015~0.052	0.034**	28.0	0.020~0.047	0.031**	21.5
根冠比 RSR	0.194~0.559	0.312**	24.6	0.170~0.337	0.252**	16.9
叶面积 LA(cm^2)	6.41~21.71	12.66**	33.7	6.40~22.71	12.33**	26.6
茎叶氮含量 SNC(%)	3.77~5.00	4.39**	7.7	4.69~6.06	5.42**	7.2
根氮含量 RNC(%)	2.43~3.23	2.83**	7.7	3.61~4.66	4.17**	7.2
株高 PH(cm)	30.9~48.7	38.1**	10.5	33.97~49.33	41.13**	9.3
茎叶氮累积量 SNA(mg/plant)	1.76~9.68	4.93**	31.9	2.82~11.56	6.99**	32.8
根部氮累积量 RNA(mg/plant)	0.44~1.63	0.97**	30.4	0.73~2.11	1.30**	25.0
氮素干物质生产率 NDMPR(g/mg)	21.79~28.95	25.02**	8.4	17.26~22.37	19.44**	7.6

注(Note):SDW—Shoot dry weight; RDW—Root dry weight; RSR—Ratio of root and shoot; LA—Leaf area; SNC—Shoot nitrogen content; RNC—Root nitrogen content; PH—Plant height; SNA—Shoot nitrogen accumulation; RNA—Root nitrogen accumulation; DDMPR—Nitrogen of dry matter productivity ratio. **—经F值检测,不同小麦品种同一指标间达到1%极显著差异性 Double star in the same index means very significant for different wheat cultivars at the 1% level.

明这些性状指标能较好地反映小麦品种之间的差异性;而根冠比、茎叶氮含量、根部氮含量和氮素干物质生产率变异系数在 20% 以下,且其变异系数大小顺序没有变化,表明这些性状在不同小麦品种间差异相对较小。此外,茎叶干重和茎叶氮累积量在正常氮水平下的变异系数均小于高氮水平,而其余指标则相反,表明不同小麦品种在高氮和正常氮条件下的差异性不同。

2.2　不同氮水平下小麦苗期指标权重及氮效率综合值

根据小麦苗期性状变异大小和相关关系,选择茎叶干重、根部干重、叶面积、茎叶氮累积量和根部氮累积量作为小麦苗期氮高效综合评价的指标,利用客观赋权法得到各评价指标权重(表 3)。在正常氮和高氮水平下,各评价指标权重平均在 0.200 左右。其中正常氮条件下各评价指标权重为 0.184 ～0.222,最高权重是最低权重的 1.21 倍,叶面积权重最大为 0.222,茎叶干重和根部干重权重最小均为 0.184。高氮条件下各评价指标权重为 0.160 ～0.244,最高权重为最低权重的 1.53 倍,茎叶氮累积量权重最大为 0.244,根部干重权重最小均为 0.160。采用隶属函数法将评价指标绝对值转化为标准值,通过复合运算得到不同小麦品种的氮效率综合值(表 4)。

表 3　不同供氮水平下小麦苗期各评价指标权重

Table 3　Weights of the evaluation indices of different wheat cultivars at the seedling stage under normal and high nitrogen levels

评价指标 Evaluation index	正常氮 Normal N		高氮 High N	
	变异系数 *CV* (%)	权重值 Weight	变异系数 *CV* (%)	权重值 Weight
叶面积 LA	33.7	0.222	26.6	0.198
茎叶干重 SDW	27.9	0.184	28.7	0.213
根部干重 RDW	28.0	0.184	21.5	0.160
茎叶氮累积量 SNA	31.9	0.210	32.8	0.244
根部氮累积量 RNA	30.4	0.200	25.0	0.186
合计 Total	151.9	1.000	145.8	1.000

注(Note): LA—Leaf area; SDW—Shoot dry weight; RDW—Root dry weight; SNA—Shoot nitrogen accumulation; RNA—Root nitrogen accumulation.

常氮条件下,参试小麦品种氮效率综合值范围为 0.053 ～0.920,最高为最低的 17.36 倍,氮效率综合值大于 80% 的品种有 2 个;氮效率综合值介于 50% ～80% 之间的品种有 15 个;其余品种氮效率综合值均小于 50%。高氮条件下,参试小麦品种氮效率综合值范围为 0.001 ～0.853,最高为最低的 853 倍;氮效率综合值大于 80% 的品种有 2 个;氮效率综合值介于 50% ～80% 之间的有 19 个;其余品种氮效率综合值均小于 50%。其中"鉴 76" 在正常氮和高氮条件下氮效率综合值均大于 80%;而"连麦 2 号"、"泛麦 5 号"等 19 个小麦品种在正常氮和高氮条件下氮效率综合值均小于 50%。

2.3　基于氮效率综合值的小麦苗期氮累积差异性聚类分析

基于小麦苗期氮效率综合值,利用最短距离法对 44 份小麦品种材料进行聚类分析,以欧氏距离为 4.50 时将参试品种分为 4 个类群(图 1、图 2)。第一类群: 正常供氮条件下有 2 个品种,其氮效率综合值为 0.865 和 0.920;高氮条件下有 6 个品种,其氮效率综合值为 0.745 ～0.853。第二类群: 正常供氮条件下有 24 个品种,其氮效率综合值为 0.402 ～0.740;高氮条件下有 17 个品种,其氮效率综合值为 0.478 ～0.678。第三类群: 正常供氮条件下有 14 个品种,其氮效率综合值为 0.186 ～0.374;高氮条件下有 17 个品种,其氮效率综合值为 0.162 ～0.419。第四类群: 正常供氮条件下有 4 个品种,其氮效率综合值为 0.053 ～0.100;高氮条件下有 4 个品种,其氮效率综合值为 0.001 ～0.087。

根据氮效率综合值和聚类分析结果,将聚类分析中的第一类群判定为氮高效型小麦品种;第二类群判定为氮中效型品种;第三和第四类群判定为氮低效型品种。氮高效型、氮中效型、氮低效型小麦

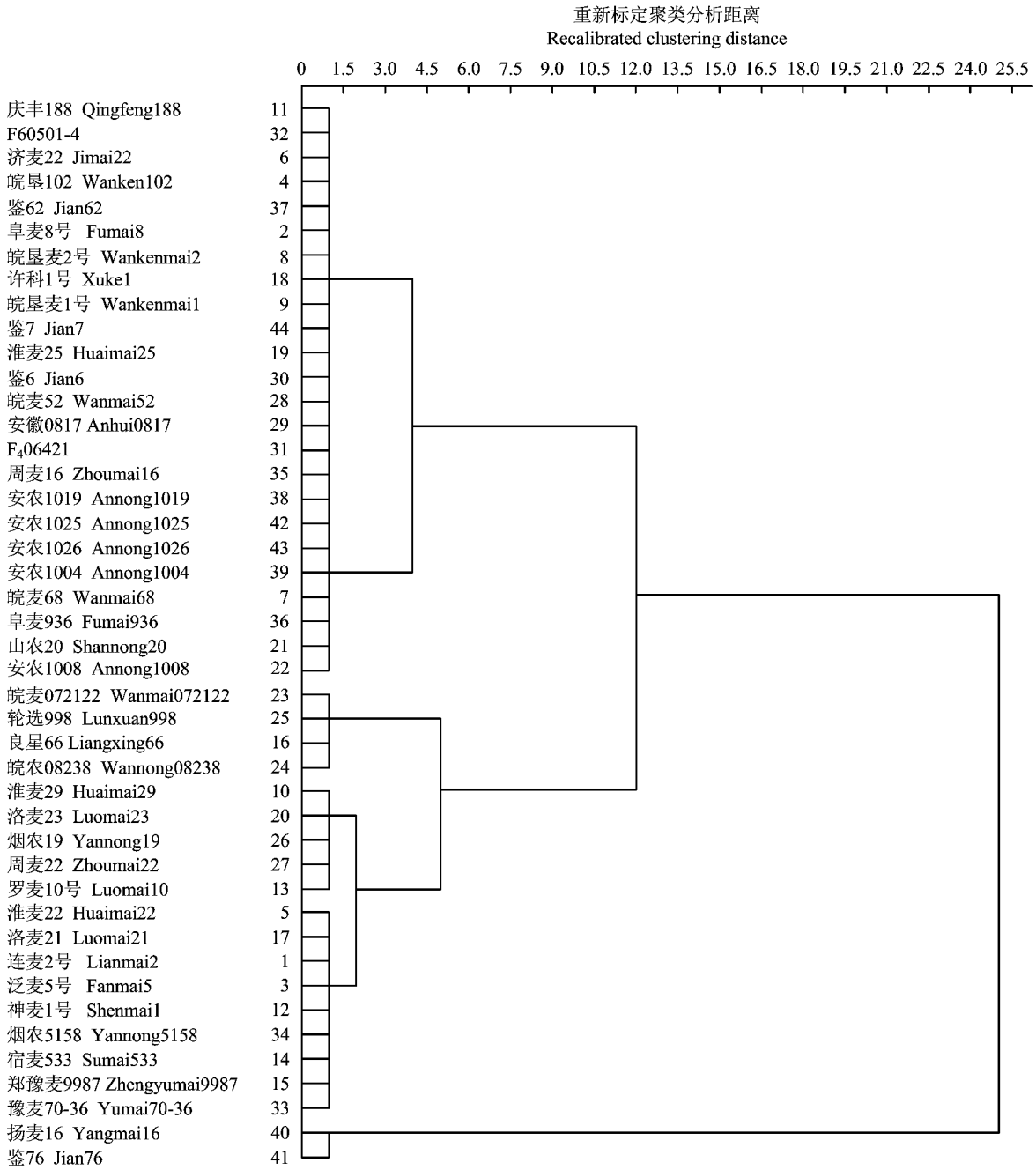

图1 正常氮水平下不同小麦品种苗期氮效率综合值聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of integrated values of nitrogen use efficiencies of different wheat cultivars at the seedling stage under normal nitrogen levels

品种在正常供氮和高氮条件下分别占供试品种总数的4.54%、54.55%、40.91%和13.63%、38.64%、47.73%。

3 讨论

本研究结果表明,不同小麦品种性状指标之间存在显著差异性,这与其他研究者的研究结果一致[5-9]。由于小麦氮高效评价指标体系尚不统一,对氮高效评价指标的选用也不尽相同,这使得评价结果缺乏可比性和重现性。李梁等[17]选择相对分蘖数、相对茎叶干重和相对整株干重作为大麦苗期氮高效评价指标;王西志等[18]认为生物量、吸钾量和钾利用指数可以作为玉米苗期钾高效评价指标。由于不同指标在表征小麦吸收利用氮素的重要性不

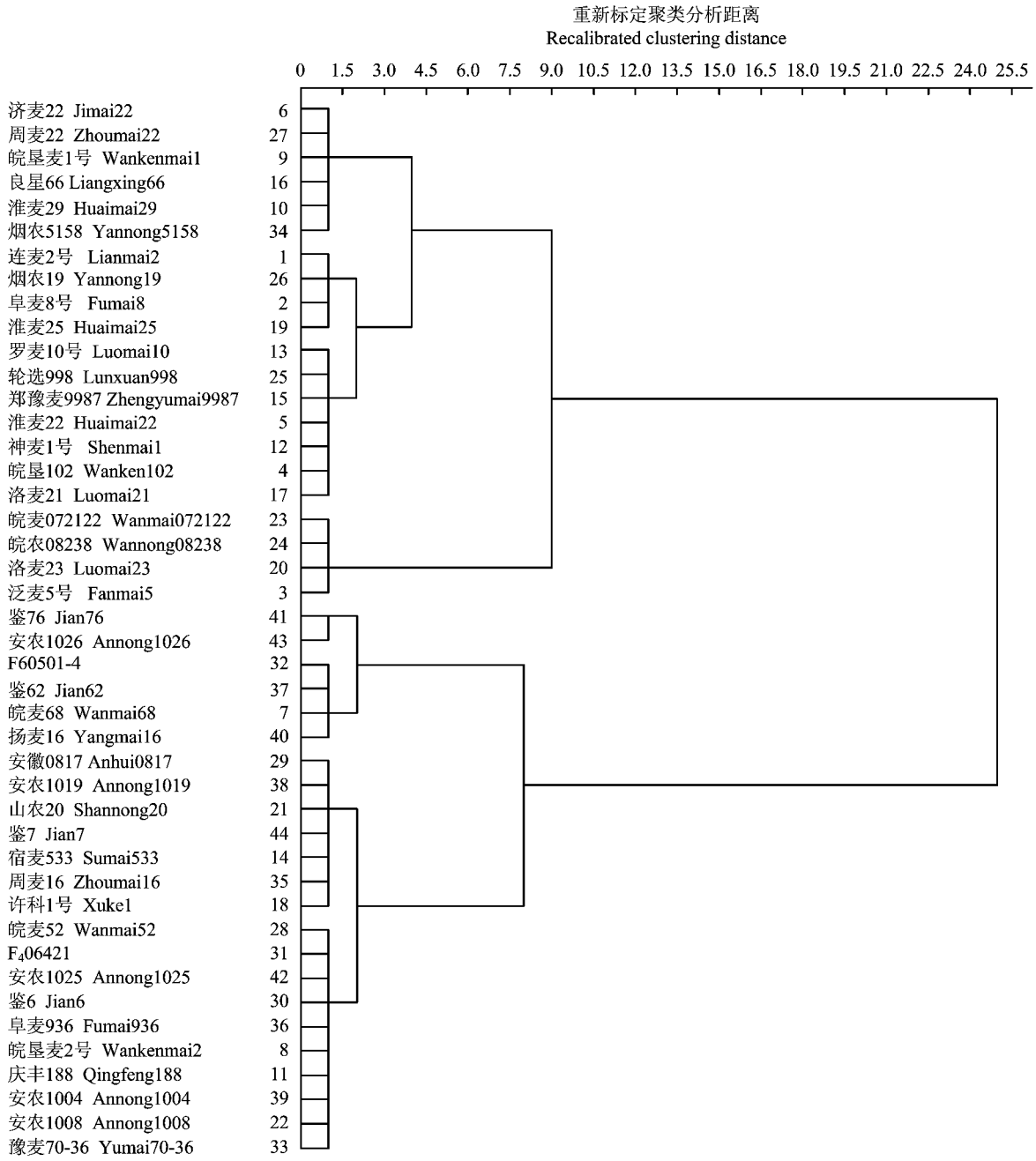

图 2　高氮水平下不同小麦品种苗期氮效率综合值聚类分析

Fig. 2　Cluster analysis of integrated values of nitrogen use efficiencies of different wheat cultivars at the seedling stage under high nitrogen levels

同,采用单一指标难以准确衡量小麦吸收利用氮素的真实能力。本文选择茎叶氮累积量、茎叶干重、根部氮累积量、根部干重和叶面积作为小麦苗期氮效率评价指标体系,通过隶属函数法对评价指标进行标准化,利用客观赋权法确定各评价指标权重,克服了不同量纲带来的影响。通过聚类分析初步获得 6 个氮高效小麦品种,其中“扬麦 16”和“鉴 76”在正常氮和高氮条件下为氮高效品种,而“皖麦 68”、“$F_6$0501-4”、“鉴 62”和“安农 1026”只在高氮条件下为氮高效品种。

赵满兴[8]等指出氮高效品种应同时具有较高的氮素吸收能力、较强的氮素转运能力和再转移能力。小麦在苗期对氮素的高吸收率虽不能等同于小麦在整个生育期的氮高利用率,却能说明其具有潜

表4 小麦苗期常氮和高氮条件下氮效率综合值

Table 4 Integrated values of nitrogen use efficiency of wheat at the seedling stage under normal and high nitrogen levels

品种编号 Cultivar number	氮效率综合值 Integrated value		品种编号 Cultivar number	氮效率综合值 Integrated value		品种编号 Cultivar number	氮效率综合值 Integrated value	
	正常氮 Normal N	高氮 High N		正常氮 Normal N	高氮 High N		正常氮 Normal N	高氮 High N
1	0.364	0.162	16	0.053	0.386	31	0.450	0.666
2	0.555	0.200	17	0.348	0.299	32	0.536	0.751
3	0.374	0.001	18	0.581	0.478	33	0.321	0.602
4	0.519	0.313	19	0.467	0.184	34	0.281	0.347
5	0.349	0.267	20	0.250	0.069	35	0.441	0.497
6	0.537	0.419	21	0.609	0.508	36	0.659	0.562
7	0.677	0.760	22	0.631	0.634	37	0.526	0.745
8	0.560	0.583	23	0.091	0.081	38	0.427	0.542
9	0.497	0.394	24	0.070	0.087	39	0.714	0.620
10	0.233	0.341	25	0.100	0.237	40	0.865	0.788
11	0.535	0.617	26	0.215	0.173	41	0.920	0.838
12	0.293	0.276	27	0.203	0.419	42	0.732	0.650
13	0.186	0.247	28	0.404	0.678	43	0.740	0.853
14	0.311	0.503	29	0.402	0.524	44	0.493	0.511
15	0.307	0.221	30	0.473	0.571			

在的氮高效利用能力。李淑文等[7]等研究指出,较强的氮素吸收能力和较好的植株生长特性是氮高效小麦品种获得高氮效率的生物学基础。裴雪霞等[19]研究结果表明,小麦生长发育前期氮素吸收量对小麦生长发育起关键作用。因此小麦苗期的氮素吸收对成熟期籽粒产量的形成有重要影响。裴雪霞等[5]研究发现,水培条件下小麦苗期相对植株干重与大田条件下相对籽粒产量之间呈极显著的正相关。赵学强等[20]指出,可以用苗期生物指标代替经济指标,达到缩短筛选周期的目的。由于作物氮素利用率受到基因和环境等因素的影响[21],本文初选的小麦苗期氮高效小麦品种材料,尚需田间试验验证,以提高筛选结果的准确性,为后续研究提供材料。

4 结论

在正常供氮和高氮条件下,44个供试小麦品种的茎叶氮累积量、茎叶干重、根部氮累积量、根部干重、叶面积、根冠比、茎叶氮含量、根部氮含量和氮素干物质生产率等指标均存在显著性差异;通过变异系数分析,确立以茎叶氮累积量、茎叶干重、根部氮累积量、根部干重和叶面积作为小麦苗期氮效率评价指标;通过不同小麦品种氮效率综合值的聚类分析,初步确定"扬麦16"和"鉴76"为正常供氮和高氮条件下的氮高效型品种,"皖麦68"、"$F_6$0501-4"、"鉴62"和"安农1026"为高氮条件下的氮高效型品种。

参 考 文 献:

[1] Frink C R, Waggoner P E, Ausubel J H. Nitrogen fertilizer: retrospect and prospect[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 1999, 96: 1175-1180.

[2] 张福锁, 崔振玲, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 687-694.
Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q *et al*. Current status of soil and plant nutrient management in china and improvement strategies [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(6): 687-694.

[3] Wang D, Xu Z Z, Zhao J Y *et al*. Excessive nitrogen application decreases grain yield and increases nitrogen loss in a wheat-soil system[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and

Plant Science, 2011, 61: 681-692.

[4] Zhu X K, Guo W S, Ding J F *et al.* Enhancing nitrogen use efficiency by combinations of nitrogen application amount and time in wheat[J]. Journal of Plant Nutrition, 2011, 34(12): 1747-1761.

[5] 裴雪霞,王姣爱,党建友,张定一. 耐低氮小麦基因型筛选指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007,13(1): 93-98.
Pei X X, Wang J A, Dang J Y, Zhang D Y. An approach to the screening index for low nitrogen tolerant wheat genotype[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 93-98.

[6] Gouis J L, Be′ghin D, Heumez E, Pluchard P. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat[J]. European Journal of Agronomy, 2000, 12: 163-173.

[7] 李淑文,文宏达,周彦珍,等. 不同氮效率小麦品种氮素吸收和物质生产特性[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 1992-2000.
Li S W, Wen H D, Zhou Y Z *et al.* Characterization of nitrogen uptake and dry matter production in wheat varieties with different N efficiency[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(10): 1992-2000.

[8] 赵满兴,周建斌,杨绒,等. 不同施氮量对旱地不同品种冬小麦氮素累积、运输和分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 143-149.
Zhao M X, Zhou J B, Yang R *et al.* Characteristics of nitrogen accumulation, distribution and translocation in winter wheat on dryland[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(2): 143-149.

[9] 赵刚,王淑英,王勇,等. 不同冬小麦品种对氮素吸收利用效率的差异研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(3): 180-185.
Zhao G, Wang S Y, Wang Y *et al.* Study on the difference of nitrogen uptake efficiency in the different wheat varieties[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2010, 25(3): 180-185.

[10] 张锡洲,阳显斌,李廷轩,余海英. 小麦氮素利用效率的基因型差异[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 369-375.
Zhang X Z, Yang X B, Li T X, Yu H Y. Genotype difference in nitrogen utilization efficiency of wheat[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(2): 369-375.

[11] 米国华,陈范俊,春亮,等. 玉米氮高效品种的生物学特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2007,13(1): 155-159.
Mi G H, Chen F J, Chun L *et al.* Biological characteristics of nitrogen efficient maize genotypes[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(1): 155-159.

[12] Chandna R, Kaur G, Iqbal M *et al.* Differential response of wheat genotypes to applied nitrogen: biochemical and molecular analysis[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2012, 8(58): 915-929.

[13] 何文寿,李生秀,李辉桃. 营养液 pH 对小麦生长及吸收铵、硝态氮的影响[J]. 土壤, 1998, (3): 124, 143-146.
He W S, Li S X, Li H T. Influence of wheat growth and absorption of NH_4^+-N、NO_3^--N under different pH of nutrient solution[J]. Soil,1998,(3): 124, 143-146.

[14] 陈文荣,曾玮玮,李云霞,等. 高丛蓝莓对干旱胁迫的生理反应及其抗旱性综合评价[J]. 园艺学报, 2012, 39(4): 637-646.
Chen W R, Zeng W W, Li Y X *et al.* The physiological responds of highbush blueberry to drought stress and the comprehensive evaluation on their drought resistance capacity[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(4): 637-646.

[15] 霍鹏,李士磊,李卫华. 春小麦耐盐性差异及聚类分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2013, 31(2): 137-142.
Huo P, Li S L, Li W H. Salt - tolerance and cluster analysis of spring wheat at seedling stage[J]. Journal of Shihezi University (Natural Science), 2013, 31(2): 137-142.

[16] 李红,朱建平. 综合评价方法研究进展评述[J]. 决策与统计, 2012, (9): 7-11.
Li H, Zhu J P. Progress in research on integrated evaluation method[J]. Statistics & Decision, 2012, (9): 7 -11.

[17] 李梁,杜志钊,高润红,等. 不同地区大麦品种苗期耐低氮性及聚类分析[J]. 上海农业学报, 2013, 29(1): 10-14.
Li L, Du Z Z, Gao R H *et al.* Low-nitrogen tolerances of different-region barley varieties at seedling stage and their cluster analysis[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2013, 29(1): 10-14.

[18] 王西志,王斌,李迎春,等. 不同钾营养效率玉米品种的筛选[J]. 中国土壤与肥料, 2012, (1): 64-68, 88.
Wang X Z, Wang B, Li Y C *et al.* Screening of maize varieties with different potassium nutrient efficiencies[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012, (1): 64-68, 88.

[19] 裴雪霞,王姣爱,党建友,张定一. 小麦氮素吸收利用的基因型差异研究[J]. 小麦研究, 2007, 28(2): 21-27.
Pei X X, Wang J A, Dang J Y, Zhang D Y. Research on genotype difference in nitrogen absorption and utilization of wheat[J]. Journal of Wheat Research, 2007, 28(2): 21-27.

[20] 赵学强,介晓雷,谭金芳,等. 钾高效小麦基因型的筛选指标和筛选环境研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 277-281.
Zhao X Q, Jie X L, Tan J F *et al.* Studies in screening indices and screening environments for efficient potassium wheat genotypes[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(2): 277-281.

[21] Xu G H, Fan X R, Miller A J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency[R]. Annual Review of Plant Biology, 2012, 63: 501-530.