



宋英博,张洪权,孟凡祥,等.氮密互作对玉米品种和育 187 农艺性状及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2021(7):6-10.

氮密互作对玉米品种和育 187 农艺性状及产量的影响

宋英博,张洪权,孟凡祥,樊伟民,王因因,李 于,李灿东

(黑龙江省农业科学院 佳木斯分院,黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:为了提高玉米品种和育 187 的种植技术水平,充分发挥栽培措施的增产增收潜力,本研究采用裂区试验,主区为种植密度,设 3 个密度水平,分别为 M1 为 $52\ 500\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$,M2 为 $60\ 000\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 M3 为 $75\ 000\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$;副区为施氮水平,设 3 种施氮量,分别 N0 为纯氮 $0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,N1 为纯氮 $150\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,N2 为纯氮 $300\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,研究种植密度与施氮量对和育 187 各农艺性状及产量的影响。结果表明:在同一密度水平下,随着施氮量的增加,株高、穗位、穗长、穗粗、穗行数、行粒数和百粒重均逐渐增大,空秆率和倒伏率也随着施氮量的增加而增加。在 N1 水平时玉米产量最高为 $5\ 916.2\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,N1 和 N2 水平下玉米产量差异不显著。在同一施肥水平下,随着种植密度的增加,穗长缩短、穗粗变细、穗行数减少、行粒数减少、百粒重降低,M1 水平下的玉米产量和 M2 水平下的玉米产量差异均达极显著水平,与 M3 水平下的玉米产量差异不显著。当玉米低密度种植时,增加施氮量不能获得高产量;当玉米高密度种植时,施氮不足会导致玉米群体营养不良,影响玉米籽粒干物质积累,玉米产量降低;合理地调节施氮量和种植密度才能获得理想产量。

关键词:氮密互作;玉米;裂区试验

全球温室效应的加剧,是导致玉米种植病虫害发生几率不断增加的主要影响因素之一。玉米作为我国重要的粮食作物,对国民经济的稳定和发展有着举足轻重的作用。黑龙江省玉米生育期积温和降水量的增加,为玉米品种更替及种植带北扩提供了良好的气候条件基础,同时对玉米病虫害的发生也将产生较大影响。黑龙江省玉米种植区位于我国的最北端,其独特的生态环境造成玉米茎腐病、大斑病、灰斑病和丝黑穗病发生较重。近年来,黑龙江省玉米年平均单产量呈上升趋势,但通过分析玉米全育期主要病害发生的相关性可明显看出,玉米平均单产量随玉米病虫害发生频次的增加而减少,两者呈负相关变化。玉米病害发生面积频次占总播种面积比例每上升 1%,玉米平均单产降低 $3.98\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。玉米病害是影响产量的重要因素之一,每年因病害造成的产量损失在 10% 以上,而且降低了玉米商品性^[1-3]。

在黑龙江省当前玉米生产上,国审和黑审玉

米品种种类繁多,玉米品种的抗病性良莠不齐。病害是影响玉米生产的重要因素,利用品种的抗性是控制玉米病害的经济、安全和有效措施。品种抗病性鉴定是品种审定中的重要环节,受田间气候和不规范操作的影响,玉米品种抗性鉴定工作中的结果可重复性差是多年来品种审定工作中的痼疾,解决途径是生产实践中多年多点的综合鉴定,抗病性玉米品种的选择与关键栽培措施相结合尤为迫切^[4-6]。玉米品种和育 187 已在黑龙江省种植与推广多年,从多年多点表现来看该品种具有抗病强、适应性好、持绿性好、籽粒大和产量高等特点,生产上出现的主要病害发病率均较低^[7-9]。为了进一步扩大和育 187 的推广面积,本研究通过施氮与种植密度互作试验,研究密植与施氮两项栽培措施对玉米品种和育 187 各农艺性状及产量的影响,为其在黑龙江省高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

本试验于 2018 和 2019 年在黑龙江省农业科学院佳木斯分院试验田进行,土壤为潮褐土,土壤水解氮含量为 $111.00\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷(P_2O_5)含量为 $62.20\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾(K_2O)含量为 $61.98\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质含量为 1.81%,pH 为 6.44。

收稿日期:2021-04-19

基金项目:黑龙江省农业科学院横向科技推广服务项目(KJFW-2019-JFY-2);黑龙江省农业科学院院级科研项目(2020YYF049)。

第一作者:宋英博(1979—),男,硕士,助理研究员,从事玉米育种与栽培研究。E-mail:1005768095@qq.com。

1.2 材料

供试玉米品种为和育 187;供试氮肥为尿素(N 46%),磷肥为重过磷酸钙(P₂O₅ 46%),钾肥为氯化钾(K₂O 60%)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用裂区试验设计,主区为种植密度,副区为施氮水平,每种密度下设置 3 种施氮量,N0 为纯氮 0 kg·hm⁻²,N1 为纯氮 150 kg·hm⁻²,N2 为纯氮 300 kg·hm⁻²。试验设 3 个密度水平,M1 为 52 500 株·hm⁻²,M2 为 60 000 株·hm⁻²和 M3 为 75 000 株·hm⁻²。试验区行长 3 m,每处理种 4 行,3 次重复,人工穴播,苗期根据试验密度定苗,其他管理同本地大田。

1.3.2 测定项目及方法 在玉米成熟期各处理选取 10 株调查玉米株高、穗位高、空秆率和倒伏率。每个处理选中间两行实收测产,并折合 14% 标准水产量,其余两行取有代表性的果穗 10 穗考种,分别测量穗长、穗粗、秃尖长、百粒重、穗行数、穗粒数和单穗粒重。

1.3.3 数据分析 利用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥和密度对和育 187 农艺性状的影响

由表 1 可知,和育 187 各农艺性状在不同处理间存在差异。株高在 M1N0 处理时最低为

274.4 cm,穗位高在 M2N0 处理时最低为 94.0 cm,均在 M3N2 处理时达到最大值,分别为 304.7 和 128.2 cm。空秆率、倒伏率和秃尖长随着密度的增大有所增大,在 M3N2 高种植密度中,空秆率和倒伏率最高,分别为 1.63% 和 16.9%,在 M3N0 处理中,秃尖最长为 2.8 cm,说明种植密度大对和育 187 空秆率、倒伏率和秃尖长的影响较大,而随着施氮量的增加,三个性状变化幅度不大。与产量相关的性状中,穗长、穗粗、百粒重和行粒数随着种植密度的增加有所减少,而穗长、百粒重和行粒数随着施氮量的增加而有所增加,在 M1N2 处理穗长最长(23.7 cm),百粒重最大(46.1 g),穗行数最多(16 行),在 M1N1 处理中穗粗最大(5.2 cm),行粒数最多(44.3 粒),在 M3N0 处理中 5 个性状值最小,说明种植密度和施氮量对和育 187 产量的影响较大。

由表 2 可以看出,在同一密度水平下,随着施氮量的增多,株高、穗位、穗粗、穗行数、行粒数和百粒重均逐渐增大,在 N2 时达到最大值,分别为 302.5 cm、116.2 cm、4.9 cm、14.7 行、41.3 粒和 43.5 g,与此同时空秆率和倒伏率也逐渐增多,在 N2 达到最大,分别为 0.73% 和 9.2%,穗长随着施氮量的增加而增加,在 N2 时最长,为 22.0 cm,并且在不同施氮处理中各性状均表现出显著性差异。

表 1 不同处理和育 187 各农艺性状的多重比较结果

处理	株高/cm	穗位/cm	空秆率/%	倒伏率/%	秃尖长/cm	穗长/cm	穗粗/cm	百粒重/g	穗行数	行粒数
M1N0	274.4±4.25 c	99.6±4.07 de	0.03±0.06 b	0 f	0.4±0.40 cd	21.8±0.61 c	5.1±0.10 a	44.3±0.97 b	14.7±1.15 bc	41.7±1.53 a
M1N1	293.2±7.05 ab	105.0±6.09 cd	0 b	0 f	0 d	23.0±0.47 ab	5.2±0.10 a	45.7±0.67 a	15.3±1.15 ab	44.3±1.15 a
M1N2	303.1±4.27 ab	111.7±6.25 c	0 b	2.1±0.75 ef	0 d	23.7±0.95 a	5.0±0.15 ab	46.1±0.64 a	16.0±0.00 a	43.3±1.15 a
M2N0	274.9±4.79 c	94.0±2.19 e	0.57±0.47 b	4.9±1.94 d	1.0±0.45 c	20.5±0.55 d	4.6±0.15 cd	42.0±0.12 c	14.0±0.00 c	41.7±1.53 a
M2N1	293.1±11.49 ab	98.0±1.61 de	0.57±0.21 b	4.4±0.83 de	0 d	22.1±0.60 bc	4.8±0.12 bc	43.5±0.50 b	14.0±0.00 c	42.3±2.08 a
M2N2	299.8±5.31 ab	108.7±6.06 c	0.57±0.2 9b	8.4±1.04 c	0 d	22.6±0.29 abc	4.9±0.15 ab	44.3±0.40 b	14.0±0.00 c	42.3±1.53 a
M3N0	289.5±10.67 b	120.5±1.83 b	1.20±0.35 a	14.7±2.42 ab	2.8±0.29 a	17.0±0.61 f	4.4±0.20 d	38.2±0.52 e	14.0±0.00 c	35.3±0.58 c
M3N1	295.1±5.03 ab	127.1±1.22 ab	1.57±0.42 a	13.1±2.26 b	1.9±0.61 b	18.4±0.85 e	4.6±0.11 cd	40.0±0.46 d	14.0±0.00 c	37.0±1.00 bc
M3N2	304.7±10.19 a	128.2±0.36 a	1.63±0.49 a	16.9±1.52 a	1.8±0.55 b	19.9±0.40 d	4.6±0.25 cd	40.1±0.65 d	14.0±0.00 c	38.3±1.53 b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05),下同。

由表 2 还可看出,在同一施肥水平下,随着种植密度的增加,空秆率和倒伏率增多,秃尖增长,在 M3 时达到最大值,分别为 1.47%、14.9% 和 2.2 cm,而穗长减短、穗粗减少、穗行数减少、行粒

数减少、百粒重降低,在 M3 时达到最小值,分别为 18.4 cm、4.5 cm、14.0 行、36.9 粒、39.4 g,并且在不同种植密度下各性状值间的存在着显著差异。

表 2 各因素水平农艺性状多重比较结果

因素	水平	株高/cm	穗位/cm	空秆率/%	倒伏率/%	秃尖长/cm	穗长/cm	穗粗/cm	百粒重/g	穗行数	行粒数
施肥处理	N0	279.6±9.70 c	104.7±12.35 c	0.60±0.59 a	6.6±6.66 b	1.4±1.14 a	19.8±2.19 c	4.7±0.34 a	41.5±2.71 b	14.2±0.67 a	39.6±3.36 b
	N1	293.8±7.26 b	110.0±13.53 b	0.71±0.73 a	5.8±5.90 b	0.6±1.01 b	21.2±2.19 b	4.8±0.30 a	43.1±2.52 a	14.4±0.88 a	41.2±3.53 a
	N2	302.5±6.49 a	116.2±10.07 a	0.73±0.77 a	9.2±6.52 a	0.6±0.96 b	22.0±1.76 a	4.9±0.24 a	43.5±2.72 a	14.7±1.00 a	41.3±2.60 a
密度处理	M1	290.2±13.48 a	105.4±7.13 b	0.01±0.03 c	0.7±1.13 c	0.1±0.30 b	22.8±1.02 a	5.1±0.13 a	45.4±1.08 a	15.3±1.00 a	43.1±1.62 a
	M2	289.3±13.08 a	100.2±7.39 c	0.57±0.30 b	5.9±2.22 b	0.3±0.53 b	21.7±1.04 b	4.8±0.18 b	43.3±1.07 b	14.0±0.00 b	42.1±1.54 a
	M3	296.4±10.24 a	125.3±3.77 a	1.47±0.42 a	14.9±2.48 a	2.2±0.65 a	18.4±1.36 c	4.5±0.20 c	39.4±1.05 c	14.0±0.00 b	36.9±1.62 b

2.2 不同处理对和育 187 产量的影响

由表 3 可看出,不同施氮水平下,N0 与 N1、N2 水平的玉米产量差异均达极显著水平,说明施氮肥是玉米营养生长和生殖生长的前提,合适的施肥条件可以促进玉米产量的提高^[7-8]。在 N0~N2 的施氮水平范围内,玉米产量随着施氮量的增多先增加后减少,在 N1 水平时玉米产量最高,为 5 916.2 kg·hm⁻²,N1 和 N2 水平下玉米产量差异不显著。

表 3 不同施肥水平和不同种植密度对产量的影响

施肥处理	平均产量/ (kg·hm ⁻²)	密度处理	平均产量/ (kg·hm ⁻²)
N1	5916.2±292.4 aA	M2	5986.5±356.6 aA
N2	5893.5±185.9 aA	M3	5643.6±190.0 bB
N0	5402.6±204.2 bB	M1	5582.1±284.7 bB

注:不同大小写字母分别代表 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平差异显著。

从表 4 还可以看出,不同种植密度水平下,M1(低密度)的玉米产量和 M2 的玉米产量差异均达极显著水平,M1 与 M3 水平下的玉米产量差异不显著。在 M1~M3 的密度范围内,玉米产量随着种植密度的增加先增加后减少,在 M2 水平时玉米产量最高,达 5 986.5 kg·hm⁻²,说明在一定密度范围内产量随着玉米种植密度增加,产量随之增加,当产量达到一定值时,不再随种植密度增加而无限增加。

从表 4 可以看出,产量最高的是 M2N1 处理(6 280.2 kg·hm⁻²),其次为 M2N2 处理,产量为 6 129.9 kg·hm⁻²,两者间差异不显著,且极显著高于其他处理;M1N1、M1N2、M3N1、M3N2 处理间玉米产量差异不显著。产量最低的是 M1N0 处理(5215.3 kg·hm⁻²),与其他处理间差异均达极显著水平。科学合理的施肥量能有效地延长玉

米生长期延缓衰老施肥能改善叶片光合能力,同时还可以提高玉米籽粒干物质积累,使光合作用持续期延长,达到增产目的。不同的玉米种植密度会影响玉米群体内光照与通风,影响玉米个体平均占有的光照、水分、土壤养分、二氧化碳浓度等,还会影响到土壤有机质分解和微生物的活动,从而对玉米个体单位面积营养分配产生影响。

表 4 不同肥密处理下的产量多重比较结果

处理	平均产量/(kg·hm ⁻²)
M2N1	6280.2±103.3 aA
M2N2	6129.9±44.7 aA
M1N2	5787.4±68.5 bB
M3N2	5763.2±73.6 bcB
M1N1	5743.5±116.2 bcBC
M3N1	5724.8±138.6 bcBC
M2N0	5549.5±221.9 cdCD
M3N0	5442.9±167.6 dD
M1N0	5215.3±44.1 eE

3 讨论与结论

在不同生态区中,选择合理的种植密度和适宜的施氮量调节玉米各农艺性状的充分生长,从而达到玉米高产。周刚等^[10]研究表明随着种植密度的增加,玉米的穗长、穗粗、穗行数、行粒数整体呈下降的趋势,株高、穗位、秃尖则增加。不同施肥水平下,玉米产量差异均达极显著水平。赵阳佳等^[11]研究表明种植密度和施氮水平均对玉米的产量和品质有显著影响。周超等^[12]研究表明可以通过种植密度和氮肥施用水平来合理地调控玉米群体的光能利用效率,增加群体光合产物的积累量,从而提高玉米产量。张向阳等^[13]认为合理密植是玉米增产增收的重要途径;优化施肥结构,增施肥料是提高玉米单产的关键措施。赵玉花^[14]研究发现种植密度和施肥对夏玉米的产

量和效益影响都十分显著,并确定出在玉米种植效益最大化的情况下氮肥的施加量以及种植密度。

结合前人研究基础,本研究利用裂区试验设计,通过施氮量与种植密度互作研究玉米品种和育 187 各农艺性状及产量的影响。在同一密度水平下,随着施氮量的增加,株高、穗位、穗长、穗粗、穗行数、行粒数和百粒重均逐渐增大,空秆率和倒伏率也随着施氮量的增加而增加。在一定的范围内,玉米产量随着施氮量的增加而提高,达到一定施氮量时产量达到最高值,之后施氮量再增加,不仅不会使产量增加,反而使产量下降。在 N1 水平时玉米产量最高,为 5 916. 2 kg·hm²,N1 和 N2 水平下玉米产量差异不显著。在当前玉米大面积生产上,群体结构中施肥量不足仍是限制玉米产量提高的重要因素。近年来,各地推广应用的玉米品种较多,种植者因为不能科学地根据气候、土壤肥力、水分资源,品种特点合理安排密度,造成过密或过稀,影响玉米正常生长和产量。在同一施肥水平下,盲目增加密度使空秆率、倒伏率和秃尖长度增加,增加病虫害风险。随着种植密度的增加,穗长变短、穗粗变细、穗行数减少、行粒数减少、百粒重降低,不同种植密度水平下,M1(低密度)水平下的玉米产量和 M2 水平下的玉米产量差异均达极显著水平,M1 与 M3 水平下的玉米产量差异不显著。通过对和育 187 在不同施氮处理、不同种植密度处理及施氮×密度互作处理间的产量进行方差分析,结果表明区组间及施氮×密度间的产量差异不显著,施氮量间、种植密度间的产量差异达极显著。密度过高,施肥量不足,会造成单位面积内玉米营养缺乏,影响玉

米正常生长发育。密度过低,施肥量即使增加,玉米群体量不足,浪费单位面积内营养及空间,可见单位面积内的施氮量与种植密度间只有达到营养平衡,玉米才能获得高产。

参考文献:

[1] 王粟,史凤梅,裴占江,等. 气候变化对黑龙江省玉米病虫害发生的影响[J]. 黑龙江农业科学,2019(6):20-26.

[2] 邵勇,魏国才,孙艳杰,等. 不同时期、不同级别叶部斑病的发生对玉米产量的影响[J]. 中国种业,2020,39(1):61-63.

[3] 戚颖,白雪峰,李铁男. 气候变化对黑龙江省生育期内玉米产量的影响[J]. 农业机械学报,2019,50(9):254-261.

[4] 闫治斌,张建,意阳,等. 高产抗病玉米新品种敦玉 268 选育与应用[J]. 农业科技通讯. 2020,51(3):193-194,197.

[5] 贾鑫. 玉米抗病育种的若干问题及其解决途径[J]. 农业开发与装备,2018,24(7):82.

[6] 李辉,向葵,张志明,等. 玉米穗腐病抗性机制及抗病育种研究进展[J]. 玉米科学,2019,27(4):167-174.

[7] 段灿星,董怀玉,李晓,等. 玉米种质资源大规模多年多点多病害的自然发病抗性鉴定[J]. 作物学报,2020,46(8):1135-1145.

[8] 马延华,孙德全,李绥艳,等. 巴彦县玉米和育 187 高产栽培技术[J]. 现代化农业,2020,42(6):19-20.

[9] 王立新. 玉米和育 187 特征特性及栽培技术[J]. 农村科技,2017,24(1):12-13.

[10] 周刚,陈光勇,杨虎,等. 肥料与密度对玉米新品种邯单 21 农艺性状及产量的影响[J]. 安徽农业科学,2020,48(24):30-32,35.

[11] 赵阳佳,王晔,张震东,等. 种植密度与施氮量对春玉米产量和品质的影响[J]. 东北农业科学,2020,45(1):17-20,67.

[12] 周超,马宝新,刘海燕,等. 增密减氮对嫩单 18 产量和氮素利用率的影响[J]. 东北农业科学,2019,44(2):7-12.

[13] 张向阳,魏鸿,何胜涛. 不同种植密度与施肥量对夏玉米产量与经济效益的影响[J]. 南方农业,2020,14(27):152-153.

[14] 赵玉花. 不同施肥量与种植密度对夏玉米产量及效益的影响[J]. 种子科技,2017,35(4):119-120.

Effects of Nitrogen and Density Interaction on Agronomic Traits and Yield of Maize Cultivar Heyu 187

SONG Ying-bo,ZHANG Hong-quan,MENG Fan-xiang ,FAN Wei-min,WANG Nan-nan,LI Yu,LI Can-dong

(Jiamusi Branch,Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences,Jiamusi 154007,China)

Abstract: In order to improve the planting technology level of Heyu 187 and give full play to the potential of increasing yield and income of cultivation measures,this study adopted a split plot experiment design. The main plot was the planting density, and three density levels were set, M1 was 52 500 plants·hm², M2 was

60 000 plants \cdot hm⁻² and M3 was 75 000 plants \cdot hm⁻². The secondary area was the nitrogen application level. Three nitrogen application rates were set, N0 was pure nitrogen 0 kg \cdot hm⁻², N1 was pure nitrogen 150 kg \cdot hm⁻², and N2 was pure nitrogen 300 kg \cdot hm⁻², respectively. The effects of planting density and nitrogen application rate on the agronomic characters and yield of Heyu 187 were studied. The results showed that at the same density level, plant height, panicle position, panicle length, panicle diameter, number of rows per panicle, number of grains per row and 100-grain weight increased gradually with the increase of nitrogen application rate, while the empty stem rate and lodging rate also increased with the increase of nitrogen application rate. The maximum maize yield at N1 level was 5 916.2 kg \cdot hm⁻², and there was no significant difference between N1 level and N2 level. Under the same fertilization level, with the increase of planting density, ear length, ear diameter, row number of ears, row number of grains and 100-kernel weight decreased, the maize yield under M1 level and M2 level were all significantly different, but not significantly different from that under M3 level. When maize was planted with low density, higher yield could not be obtained by increasing N application rate. When maize was planted with high density, insufficient nitrogen application would lead to malnutrition of maize population, which would affect dry matter accumulation of maize grains and decrease maize yield. The ideal yield can only be obtained by adjusting the nitrogen application and planting density reasonably.

Keywords: nitrogen and density interaction; maize; crack zone test design

(上接第 5 页)

Multiple Analysis on Main Agronomic Traits of Soybean Varieties(Lines) with Nematode Resistance

ZHOU Chang-jun, TIAN Zhong-yan, LI Jian-ying, WU Yao-kun, YU Ji-dong, MA Lan, LI Ze-yu

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China)

Abstract: In order to explore the genetic variation and correlation of the main agronomic characters of soybean varieties (lines) with nematode resistance and their effects on the principal components in the western saline alkali semi-arid area of Heilongjiang Province, and improve the breeding efficiency of new soybean varieties. In this paper, the variation, correlation and principal component analysis of 11 main agronomic traits of 10 soybean varieties (lines) with nematode resistance from 2018 to 2019 were carried out. Comprehensive two-year data analysis results showed that the genetic diversity of 11 main agronomic traits was rich, the largest coefficient of variation was lodging level, the coefficient of variation was 82.62% (2018) and 76.20% (2019), the smaller coefficient of variation was growth period, the coefficient of variation was 1.58(2018) and 1.50(2019); correlation analysis showed that yield had significant correlation with pod number per plant and grain number per plant, but had no significant correlation with node number and grain weight per plant. The results of principal component analysis showed that the 11 main agronomic traits of soybean were simplified into four comprehensive indexes, and their cumulative contribution rates were 86.802% (2018) and 85.254% (2019), which could reflect the basic characteristics of the 11 main agronomic traits of soybean, in which pod number per plant and seed weight per plant factor load were the highest, and they made the largest contribution to soybean yield. In conclusion, the selection of pod number per plant should be paid attention when breeding soybean varieties(lines) in the western saline alkali semi-arid area of Heilongjiang Province, and the mutual influence and restriction of seed number per plant, seed weight per plant, plant height, SCN index and lodging level should be coordinated.

Keywords: agronomic traits; coefficient of variation; correlation analysis; principal component analysis